The people' Democratic Of Algeria

الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية

Ministry Of Higher Education and Scientific Research

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

University Kasdi Merbah – Ouargla –

جامعة قاصدي مرباح – ورقلة –

Faculty Of Mathematics and Sciences Material

كلية الرياضيات وعلوم المادة

Chemistry Department

قسم الكيمياء

مذكرة مقدمة ضمن إستكمال متطلبات لنيل شهادة ماستر أكاديمي في الكيمياء تخصص: كيمياء تطبيقية

من إعداد الطالبة: عيساني وئام

بعنوان:

المساهمة في دراسة التركيب الكيميائي والفعالية البيولوجية لمخلفات القهوة

نوقشت علنا يوم:3 جوان2026

أمام اللجنة المتكونة من:

علاوي عبد الفتاح	أستاذ محاضر-أ- جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيسا
هادف الدراجي	أستاذ تعليم عالي جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مناقشا
بن علي مصطفى	أستاذ محاضر -أ- جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مؤطرا

السنة الجامعية:2026/2025

بسم الله الرحمن الرحیم

یرفع الله الذین آمنوا منکم والذین اوتوا العلم درجات

إهداء

إلى روح أبي الغالي رحمه الله

إلى من رحل جسده وبقي أثره الطيب ودعاؤه يسكن قلبي، في كل خطوة كنت أول سند لي، وأول من آمن بقدرتي على النجاح، فأسال الله أن يجعل هذا العمل نورا يصل إليك في قبرك، ورحمة جارية لك. رحمك الله بقدر شوقي إليك.

إلى أمي الحبيبة،

نبض القلب وسر القوة و الصبر، إلى من كانت دعواتها ترافقني في كل لحظة، وكل نجاح أصل إليه هو ثمرة تعبها وحنانها، أطال الله في عمرها وحفظها لي.

إلى روح أختي الحبيبة استبرق رحمها الله،

رحلت باكرا لكن حضورك لم يفارق قلبي يوما، ما زالت ذكراك تسكن تفاصيل حياتي، ومازلت الدعاء الأجمل في كل صلاة. اسأل الله أن يجمعني بك في جنات النعيم، وأن يجعل هذا العمل صدقة جارية لك.

إلى إخوتي و أخواتي،

أنتم السند بعد الله، ورفقاء الطريق في كل الظروف، شكرا لوجودكم الدائم إلى جانبي.

إلى أبناء إخوتي الأحباء،

(مؤيد، أيوب،أنسام، أرينا، أحمد جود، ريتال)

ضحكاتكم كانت تخفف عني تعب الأيام، ووجودكم كان دائما مصدر فرح و أمل.

إلى صديقاتي العزيزات،

كلن باسمها ومقامها إلى من شاركني لحظات التعب و النجاح، وكن خير داعم لي بكلماتهن وصدقهن، شكرا لأنكن كنتن جزءا جميلا من هذه الرحلة.

وإلى كل من أحبني بصدق، ودعا لي بالخير، وساندني ولو بكلمة طيبة...

أهديكم هذا العمل المتواضع، راجية من الله أن يكون بداية لتحقيق كل الأحلام.

شكر وعرفان

الحمد لله حمد كثيرا طيبا مباركا فيه، نحمد سبحانه وتعالى على نعمه التي لا تعد و لاتحصى، ونشكره على توفيقه وإعانته لإتمام هذا العمل المتواضع، فما كان ليتم لولا فضله وكرمه.

الحمد لله و الصلاة و السلام على رسول الله قال عليه الصلاة و السلام

" من صنع إليكم معروفا فكافئوه، فإن لم تجدوا ماتكافئوه فادعوا له حتى تروا أنكم قد كافأتموه "

أتقدم بخالص الشكر و التقدير و الامتنان إلى أستاذي المشرف الدكتور **مصطفى بن علي**، على إشرافه القيم، وتوجيهاته السديدة، وصبره ودعمه المتواصل طوال فترة إنجاز هذه المذكرة، فكان نعم الموجه و الناصح، فجزاه الله عني خير الجزاء ورزقه من حيث لا يحتسب.

كما أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى أعضاء لجنة المناقشة الموقرة **الدكتور علاوي عبد الفتاح** رئيسا **والدكتور هادف الدراجي** مناقشا على تفضلهم بقبول مناقشة هذا العمل، وعلى ما سيقدمونه من ملاحظات وتوجيهات قيمة تساهم في تحسينه و إثرائه.

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر إلى مخبر **CRAPC** و المخبر البيداغوجي على ما وفراه من إمكانيات و مساعدات ساهمت في إنجاز هذا البحث في أحسن الظروف.

كما أتوجه بالشكر الخاص إلى السيدة أنيسة، مسؤولة المخابر، على تعاونها الدائم ومساعدتها طوال فترة العمل التطبيقي.

وأتقدم كذلك بخالص الشكر و التقدير إلى جميع أساتذتي الكرام الذين رافقوني طوال مشواري الدراسي، وكان لهم اللفضل بعد الله فيما وصلت إليه من علم ومعرفة.

كما لا أنسى أن أشكر كل من مدّ لي يد العون وساعدني في إنجاز هذا العمل، من قريب أو بعيد، ولو بكلمة طيبة أو دعوة صادقة، فلكم مني جميعا أسمى عبارات الشكر و العرفان.

وفي الأخير، أسأل الله تعالى أن يجعل هذا العمل خالصا لوجهه الكريم، و أن ينفع به، ويوفقنا جميعا لما فيه الخير و السداد.

فهرس المحتويات

الاهداء	
الشكر والعرفان	
قائمة المحتويات	I
قائمة الجداول	V
قائمة الأشكال	VI
قائمة الرموز	VIII
الملخص	IX
المقدمة العامة	XI
الجزء النظري	
الفصل الأول: عموميات حول نبات القهوة	
I- مدخل	1
I-1- التعريف الكيميائي لنبات القهوة	1
I-2- التوزيع الجغرافي لنبات القهوة	2
I-3- الوصف المورفولوجي	3
I-3-1- لنبات القهوة	3
I-3-2- لثمرة القهوة	5
I-4- أنواع القهوة	6
I-5- التصنيف العلمي لنبات القهوة	7
I-6- الإنتاج العالمي للقهوة	7
I-7- مراحل معالجة القهوة	8
I-8- تأثير التحميص على التركيب الكيميائي للقهوة	9
I-9- القيمة الغذائية للقهوة ومخلفاتها	10
I-10- تعريف نقل القهوة	10
I-11- التركيب الكيميائي لنقل القهوة	11
I-11-1- المكونات الرئيسية	11
I-11-2- التركيب الليغنوسليلوزي	11
I-11-3- السكريات و المركبات الكربوهيدراتية	12
I-11-4- الدهون والأحماض الدهنية	12
I-11-5- المعادن والعناصر	12
I-11-6- المركبات الفينولية ومضادات الاكسدة	13
I-12- الدراسات السابقة	14
I-13-التوزيع الجغرافي للإنتاج العلمي لمخلفات القهوة	17
الفصل الثاني :عموميات حول الزيوت	

II- الليبيدات	20
II-1- تعريف	20
II-2- أهمية الزيوت والدهون	21
II-2-1- الأهمية الفيزيولوجية للزيوت	21
II-2-2- الأهمية الاقتصادية للزيوت	21
II-2-3- الأهمية الصناعية والغذائية للزيوت	22
II-2-4- العلاج الطبيعي بالزيوت والدهون	22
II-3- تصنيف الزيوت والدهون	23
II-3-1- تصنيف الزيوت كيميائيا	24
II-3-1-1- بناء على درجة التشبع	24
II-4- أقسام الليبيدات	27
II-4-1- الليبيدات البسيطة	27
II-4-1-1- أسترات الجليسرول	27
II-4-1-2- أسترات الكوليسترول	28
II-4-1-3- الشموع	28
II-4-1-4- السيراميدات	28
II-4-2- الليبيدات المركبة	29
II-4-2-1- الفوسفوليبيدات	29
II-4-2-1-1- الجليسيروفوسفوليبيدات	29
II-4-2-1-2- السفينجوفوسفوليبيدات	32
II-4-2-2- الليبيدات السكرية	33
II-4-3- الدهون المشتقة	34
II-5- الأحماض الدهنية	35
II-5-1- تعريف	35
II-5-2- تصنيف الأحماض الدهنية	35
II-5-2-1- أحماض دهنية مشبعة	35
II-5-2-2- أحماض دهنية غير مشبعة	36
II-5-2-3- أحماض دهنية هيدروكسيلية	37
II-5-2-4- أحماض دهنية حلقية	37
II-6- طرق تحضير الأسترات الميثلية	38
II-6-1- الطريقة العامة	38
II-6-2- الطريقة المطبقة على المواد الدهنية المتعادلة	39
II-6-3- الطريقة المطبقة على المواد الدهنية الحمضية	39
II-7- التوكوفيرول	40

II-7-1- أنواع التوكوفيرول	40
II-7-2- وظائف التوكوفيرول	40
II-8- الخصائص الفيزيوكيميائية للزيت	41
II-8-2- الخواص الكيميائية	43
II-8-2-1- رقم الحامض	43
II-8-2-2- رقم التصبن	43
II-8-2-3- رقم اليود	44
II-8-2-4- محتوى الرطوبة	45
الفصل الثالث: المركبات الفينولية والفعالية البيولوجية	
III- مدخل	47
III-1- المركبات الفينولية	47
III-1-1- تعريف المركبات الفينولية	47
III-1-2- أقسام المركبات الفينولية	48
III-1-2-1- المركبات الفينولية البسيطة	48
III-1-2-1- 2- الفلافونيويدات	50
III-1-2-2- المركبات الفينولية المعقدة	51
III -1-3- أهمية المركبات الفينولية	53
III-2- الفعالية المضادة للبكتيريا	54
III-2-1- تعريف البكتيريا	54
III-2-2- الخصائص العامة للبكتيريا	55
III-2-3- أوساط نمو للبكتيريا	55
III-2-4- بنية البكتيريا	55
III-2-5- أنواع البكتيريا	56
III-2-7- أنواع البكتيريا مستعملة في دارسة	60
III-2-7-1- البكتيريا الزائفة الزنجارية	60
III-2-7-2- البكتيريا العنقودية الذهبية	60
III-2-7-3- بكتيريا اشيريشيا كولي	61
الجزء التطبيقي	
الفصل الرابع: دراسة تجريبية	
IV- مدخل	65
IV- 1- الأدوات الأجهزة والمواد المستخدمة	65
IV- 2- تحضير العينة	66
IV- 3- تعيين محتوى الرطوبة	66
IV-4- استخلاص الزيت	67

IV-5- تحديد النسبة المئوية الوزنية الزيت المستخلص	69
IV-6- الثوابت والمؤشرات الفيزيائية للزيت القهوة	69
IV-6-1- دراسة الخصائص الفيزيائية للزيت القهوة	69
IV-6-1-1- الكثافة النوعية	69
IV-6-1-2- قرنية الانكسار	69
IV-6-2- دراسة الخصائص الكيميائية لزيت القهوة	70
IV-6-2-1- رقم الحامض	70
IV-6-2-2- رقم التصبن	70
IV-6-2-3- رقم اليود	71
IV-7- تحليل تركيب الأحماض	72
IV-7-1-المعايير التشغيلية لكروماتوغرافيا الغار	73
IV-7-2- اعدادات مطيافية الكتلية	73
IV-7-3- تحديد الهوية المركبات الفينولية	74
IV-8- استخلاص المركبات الفينولية	75
IV-9- تحديد النسبة المئوية للمستخلص الفينولي	76
IV-10- التقدير الكمي للمركبات الفينولية	76
IV-11- دراسة الفعالية البيولوجية	77
IV-12- النتائج والمناقشة	79
الخاتمة العامة	96
المراجع	

فهرس الجداول

عنوان الجدول	الصفحة
الفصل الأول	
I-1- فوارق أنواع القهوة	7
I-2-التصنيف العلمي لنبات القهوة	7
I-3- أكبر 10 دول انتاج للقهوة بالعالم 2024-2025	8
I-4- القيمة الغذائية والأهمية الحيوية لمخلفات القهوة	10
الفصل الثاني	
II-1- تصنيف الزيوت	24
II-2-تصنيف الزيوت حسب مصدرها	26
II-3- أهم الأحماض الدهنية المشبعة	36
II-4- أحماض أحادية عدم التشبع	36
II-5- أحماض ثنائي عدم التشبع	37
II-6- أحماض عديدة عدم التشبع	37
II-7- أحماض دهنية حلقية	38
II-8- أنواع التركوفيرول	40
الفصل الثالث	
III-1- أشكال حمض هيدروكسي فيزويك	48
III-2- هياكل حمض هيدروكسي استياميك	49
III-3- أحماض تفل القهوة	49
III-4- تصنيفات البكتيريا	58
الفصل الرابع	
IV-1- الأدوات والأجهزة المستعملة في العمل	65
IV-2-المواد المستعملة في العمل	**66**
IV-3- مردود استخلاص الزيت بالطريقتين	81
IV-4- مقارنة بين زيتين من حيث طريقة الاستخلاص	82
IV-5- الثوابت الفيزيوكيميائية لزيت تفل قهوة	82
IV-6- أحماض دهنية المكونة لزيت تفل القهوة	86
IV-7- مردود الاستخلاص المركبات الفينولية	89
IV-8- فعالية المستخلص الفينولي ضد مجموعة من أنواع البكتيريا	92

عنوان الشكل	الصفحة
الفصل الأول	
I-1-صورة أجزاء قشرة القهوة	1
I-2- صورة مناطق زراعة القهوة	2
I-3-صورة زراعة القهوة البن بحسب النوع	3
I-4-صورة شجرة البن العربي	4
I-5-صورة أوراق البن لامعة دائمة الحفرة	4
I-6-صورة أزهار البن بيضاء اللون والنجمي	5
I-7-صورة ثمرة البن العنبية	9
I-8-صورة المركبات الفينولية الناتجة أثناء التحميض	11
I-9-صورة نقل القهوة	13
I-10-صورة البيانات الجغرافية للإنتاج العلمي المتعلق ببحوث القهوة ومخلفاتها	18
الفصل الثاني	
II-1-الصيغ التركيبية للثلاثي وثنائي وأحادي الجليسريد	27
II-2-التركيب الكيميائي لأسترات الكوليسترول	28
II-3-التركيب الجزيئي للسيراميد والسفينجوزين	29
II-4-التركيب الكيميائي لحمض الفوسفاتيديك	30
II-5-التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل كولين	30
II-6- التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل إيثانولامين	31
II-7-التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل سيرين	31
II-8-التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل انيوزيتول	32
II-9-التركيب الكيميائي لجزيء الكارديوليبين	32
II-10-التركيب الكيميائي لجزيء السفينجوميلين	32
II-11- التركيب الكيميائي السيريبوزيد	33
II-12- التركيب الكيميائي لجزيء السلفاليد	33
II-13- التركيب الكيميائي لجزيء الجانجليوسيد	34
II-14-مراحل تحليل الأحماض الدهنية في الزيوت بإستخدام (GC)	39
II-15- التركيب الكيميائي لجزيء التوكوفيرول	40
الفصل الثالث	
III-1- الهيكل أساسي للفينول	48
III-2- الفينولات البسيطة	48
III-3- الهيكل العام للفلا فونويدات	51
III-4- صورة لتينيات متحللة	52
III-5- صورة لتنينيات متراكمة	53
III-6- صورة رسم تخطيطي لبكتيريا	57
III-7- صورة لبكتيريا Pseudomonas aeruginosa	60
III-8- صورة لبكتيريا Staphylococcus aureus	61

III-9- صورة لبكتيريا Esherichia coli	62
الفصل الرابع	
IV-1- صورة تفل القهوة المستعمل	67
IV-2- صورة لجهاز الأمواج الفوق الصوتية	68
IV-3- صورة جهاز المبخر الدوراني	68
IV-4- صورة تركيبة السوكسلي	69
IV-5- صورة لجهاز قرينة الانكسار	70
IV-6- صورة جهاز كروماتوغرافيا الطور الغازي مع مطياف الكتلة	74
IV-7- صورة مراحل استخلاص المستخلص الفينولي	75
IV-8- صورة سلسلة تراكيز حمض الغاليك لرسم منحنى معايرة	77
IV-9- صورة جهاز Spectroscopie UV-VIS لقياس الامتصاصية	78
IV-10- صورة لتحضير الوسط الزرعي و المعلق بكتيري	79
IV-11- صورة طريقة زراعة المعلق البكتيري وتحميل مستخلصات	80
IV-12- صورة حضن أطباق بتري في حاضنة	80
IV-13- التحليل الكروماتوغرافي الغازي الطيفي الكتلي GC-MS لزيت تفل قهوة المستعمل	86
IV-14- صورة المنحنى القياسي لامتصاصية محلول حمض الغاليك	89
IV-15- صورة تأثير المستخلص الزيتي تجاه أنواع البكتيريا	91
IV-16- صورة تأثير المستخلص فينولي تجاه أنواع البكتيريا	92
IV-17- منحنى العلاقة بين تركيز المستخلص الفينولي وقطر هالة التثبيط ضد بكتيريا	93

الرمز	الشرح
C°	درجة مئوية
N	النظامية
d_4^{20}	الكثافة النوعية
η_D^{20}	قرينة الانكسار
IA	رقم الحامض
IS	رقم التصبن
II	رقم اليود
M_{moy}^{TG}	الكتلة الجزيئة المتوسطة للجليسريدات
M_{moy}^{AG}	الكتلة الجزيئة المتوسطة للأحماض الدهنية
A	الامتصاصية
µL	ميكرولتر
GAE	حمض الغاليك المكافئ
DMSO	ثنائي مثيل سلفوكسيد
CRAPC	المركز الوطني للبحث والتحاليل الفيزيائية والكيميائية
GC-MS	كروماتوغرافيا الطور الغازي مع مطيافية الكتلية

الملخص

في ظل التوجه المتزايد نحو تثمين المخلفات العضوية و اعتماد مبادئ الاقتصاد الأخضر، يبرز تفل القهوة المستعمل كمصدر واعد للمركبات الحيوية ذات القيمة المضافة، نظرا لغناه بالمركبات الدهنية و الفينولية القابلة للاستغلال في عدة مجالات تطبيقية. وتهدف هذه الدراسة إلى تثمين تفل القهوة المستعمل من خلال استخلاص الزيت و المركبات الفينولية و توصيفها، إضافة إلى تقييم فعاليتها البيولوجية.

شملت الدراسة استخلاص الزيت من تفل القهوة باستعمال طريقتين مختلفتين، هما الاستخلاص بالأمواج فوق الصوتية وطريقة السوكسلي.حيث أظهرت النتائج تفوق تقنية الأمواج فوق الصوتية بمردود استخلاص بلغ 5.2% مقارنة بطريقة السوكسلي التي سجلت 3.1%، مما يدل على كفاءة هذه التقنية في تحسين مردودية الاستخلاص وتقليل زمن المعالجة.

خضع الزيت المستخلص لسلسلة من التحاليل الفيزيائية و الكيميائية شملت الكثافة، قرينة الانكسار، رقم الحموضة، رقم اليود، رقم التصبن، بهدف تقييم جودة الزيت وخصائصه الكيميائية، بالاضافة إلى دراسة تركيبه من الأحماض الدهنية.وقد أظهرت النتائج توافقا نسبيا مع القيم المرجعية لزيوت القهوة، مما يعكس إمكانية الاستفادة من هذا الزيت في تطبيقات صناعية و غذائية مستقبلية..

كما تم استخلاص المركبات الفينولية من تفل القهوة وإجراء التقدير الكمي لمحتواها الكلي باستعمال طريقةFolin-Ciocalteu ، حيث بلغ المحتوى الفينولي الكلي 1.41mgGAE/g،مما يدل على احتواء التفل على مركبات ذت قدرة مضادة للأكسدة.

ولغرض تقييم الفعالية البيولوجية، أجريت اختبارات النشاط المضاد للبكتيريا لكل من المستخلص الزيتي و المستخلص الفينولي تجاه عدة سلالات بكتيرية. و أظهرت النتائج غياب نشاط مضاد للبكتيريا بالنسبة للزيت المستخلص، في حين أبدى المستخلص الفينولي فعالية مضادة للبكتيريا بدرجات متفاوتة حسب التركيز و نوع السلالة البكتيرية، وهو ما يرجح ارتباط هذاالنشاط بالمركبات الفينولية النشطة حيويا.

وتؤكد هذه النتائج أن تفل القهوة المستعمل يعد مادة أولية واعدة يمكن تثمينها كمصدر للمركبات الدهنية و الفينولية ذات الاهتمام البيولوجي، بما ينسجم مع توجهات التنمية المستدامة وتقنيات الاستغلال البيئي للمخلفات الغذائية.

الكلمات الدالة: تفل القهوة، الليبيدات، الأحماض الدهنية، المركبات الفينولية، الفعالية البيولوجية.

Abstract

In light of the growing global interest in waste valorization and the adoption of green economy principles, spent coffee grounds have emerged as a promising source of bioactive compounds with high added value, due to their richness in lipidic and phenolic compounds that can be exploited in several application fields. This study aimed to valorize spent coffee grounds through the extraction and characterization of oil and phenolic compounds, as well as the evaluation of their biological activity.

The study involved oil extraction from spent coffee grounds using two different methods, namely ultrasound-asssisted extraction and Soxhlet extraction. The results showed the superiority of the ultrasound-assisted method, which yielded an extraction rate of %5.2, compared with %3.1 obtained by the Soxhlet method, indicating the higher efficiency of ultrasound extraction in improving extraction yield while reducing processing time.

The extracted oil was subjected to a series of physicochemical analyses including density, refractive index, acid value, iodine value, and saponification value, in order to evaluate its quality and chemical characteristics, in addition to studying its fatty acid composition. The obtained results showed relative agreement with the reference values reported for coffee oils, highlighting the potential use of this oil in future industrial and food applications.

To evaluate the biological activity, antibacterial activity tests were carried out for botg the oily extract and the phenolic extract against several bacterial strains. The results revealed the absence of antibacterial activity in the oil extract, whereas the phenolic extract exhibited noticeable antibacterial activity with varying degrees depending on the concentration and the bacterial strain tested. This suggests that phenolic compounds are mainly responsible for the observed biological effect.

The findings of this study confirm that spent coffee grounds represent a promising raw material that can be valorized as a source of lipidic and phenolic compounds with biological interest, in accordance with sustainable development approaches and environmentally friendly strategies for food waste valorization.

KEYWORDS: Spent coffee grounds ،Lipids ،Fatty acids ،Phenolic compounds ، Biological activity.

المقدمة العامة

المقدمة العامة:

يُعد الاهتمام بتثمين المخلفات الزراعية و الصناعية من أبرزتوجهات البحث العلمي المعاصر، في ظل تنامي الوعي البيئي و السعي نحو تحقيق مبادئ الاقتصاد الدائري و التنمية المستدامة. وفي هذا الإطار، لم تعد المخلفات الغذائية تُنظر إليها باعتبارها نفايات ينبغي التخلص منها، بل باتت تمثل مصادر واعدة للمركبات النشطة بيولوجيا ذات القيمة المضافة ، مما يفتح آفاقا واسعة أمام الصناعات الغذائية و الصيدلانية و الزراعية (Murthy& Naidu,2012).

تُصنّف القهوة ضمن أكثر المشروبات استهلاكًا على مستوى العالم، وتحتل الجزائر مكانة بارزة في هذا المجال، إذ تُصنفها منظمة القهوة الدولية(ICO) في المرتبة الثانية افريقيًا من حيث الاستهلاك بعد إثيوبيا (ICO,2023)، حيث تستورد البلاد مايقارب 130,000 طن من حبوب القهوة سنويا بقيمة تتجاوز 300 مليون دولار، وتستحوذ حبوب الروبوستا على نسبة 85% من هذه الواردات (Vizda Industrial,2023) وتعكس هذه الأرقام الثقل الاستهلاكي للقهوة في المجتمع الجزائري، حيث يصل متوسط الاستهلاك الفردي إلى ما بين 3 و 4 كغ للفرد سنويا، وهو مستوى مقارب لنظيره في دراسة ميدانية أجريت في الجزائر أن 90.9% من الطلاب الجامعيين يستهلكون القهوة بصفة منتظمة (Guemouni et al.,2024)، وهو ما يجسد عمق ارتباط القهوة بالنسيج الاجتماعي و الثقافي الجزائري.

يفضي هذا الاستهلاك الواسع إلى توليد كميات ضخمة من تفل القهوة المستعمل (Spent Coffee Grounds)، الذي يرمى في معظم الاحيان دون استثمار يذكر رغم مايزخر به من مكونات كيميائية قيمة. فقد كشفت الدراسات أن هذا المخلف يحتوي على نسب معتبرة من الزيوت و المركبات الفينولية و البروتينات و الألياف(Campos-Vega et al.,2015)، مما يجعله مادة خامة مثيرة للاهتمام في إطار مساعي التثمين الشامل. وقد أولت الدراسات الحديثة اهتمامًا متزايدًا بالزيوت المستخلصة من تفل القهوة لما تحمله من أحماض دهنية ذات أهمية غذائية وصناعية(Andrade et al.,2012)، كما أبدت المركبات الفينولية المستخلصة منه فعاليات بيولوجية لافتة لاسيما في مجال مقاومة الاكسدة و البكتيريا (Mussatto et al.,2011). وفي هذا السياق، تبرز أهمية اختيار طريقة الاستخلاص الملائمة، حيث أثبتت تقنية الامواج فوق الصوتية تفوقها من حيث الكفاءة والمردود مقارنة بالطرق التقليدية كسوكسلي (Bouras et al.,2023)

انطلاقا من هذه الدراسات جاءت هذه الدراسة الموسومة " بالمساهمة في دراسة التركيب الكيميائي وفعالية مخلفات القهوة " بهدف تثمين تفل القهوة المستعمل واستغلاله علميا، وذلك من خلال محورين رئيسيين:

- **المحور الأول – الجزء الليبيدي:**

تم استخلاص الزيت من تفل القهوة بطريقتين مختلفتين، هما طريقة الاستخلاص بالأمواج فوق الصوتية، وطريقة سوكسلي، مع المقارنة بين مردوديهما. وقد خضع الزيت المستخلص لتحديد خصائصه الفيزيوكيميائية، فضلا عن تحليل تركيبه في الأحماض الدهنية بتوظيف تقنية كروماتوغرافيا الغازية المقترنة بمطيافية الكتلة (GC.MS).

- **المحور الثاني – الجزء الفينولي و الفعالية البيولوجية:**

أجري استخلاص المركبات الفينولية من التفل ذاته وقدرت كميًا، ثم خضع كل من المستخلص الفينولي و المستخلص الزيتي لإختبارات النشاط المضاد للبكتيريا، بغية المقارنة بين فعاليتهما البيولوجية وتحديد المسؤول منهما عن النشاط الملاحظ.

وقد قسمت هذه الدراسة إلى جزأين رئيسيين:

الجزء النظري، ويشتمل على ثلاثة فصول:

- **الفصل الأول:** عموميات حول القهوة
- **الفصل الثاني:**عموميات حول الزيوت
- **الفصل الثالث:** المركبات الفينولية و الفعالية البيولوجية

الجزء التطبيقي: ويشمل ما يلي :

- المواد و الأجهزة المستعملة في الدراسة.
- البروتوكول المتبع في الدراسة.
- النتائج و المناقشة

الفصل الأول

عموميات حول القهوة

I. مدخل :

تعد القهوة من أكثر المشروبات استهلاكا على المستوى العالمي نظرا لقيمتها الثقافية و الاجتماعية، غير أن تزايد الطلب عليها يقترن بإنتاج كميات معتبرة من المخلفات الصلبة. وقد أدى تنامي الوعي البيئي و التشريعات الصارمة في السنوات الأخيرة الى تعزيز الاهتمام بإدارة هذه النفايات و استدامتها، إذ أظهرت الدراسات إمكانية استغلالها في تطبيقات متعددة، مثل الصناعات الدوائية و الغذائية و التجميلية، إلى جانب توظيفها كمصدر للطاقة الحيوية. وفي هذا السياق ، تعد مخلفات القهوة مادة أولية منخفضة التكلفة وذات إمكانات وظيفية وكيميائية واعدة، مما يفتح آفاقا لإعادة تثمينها عبر مسارات تكنولوجية مبتكرة. ((Kourmentza et al., 2018

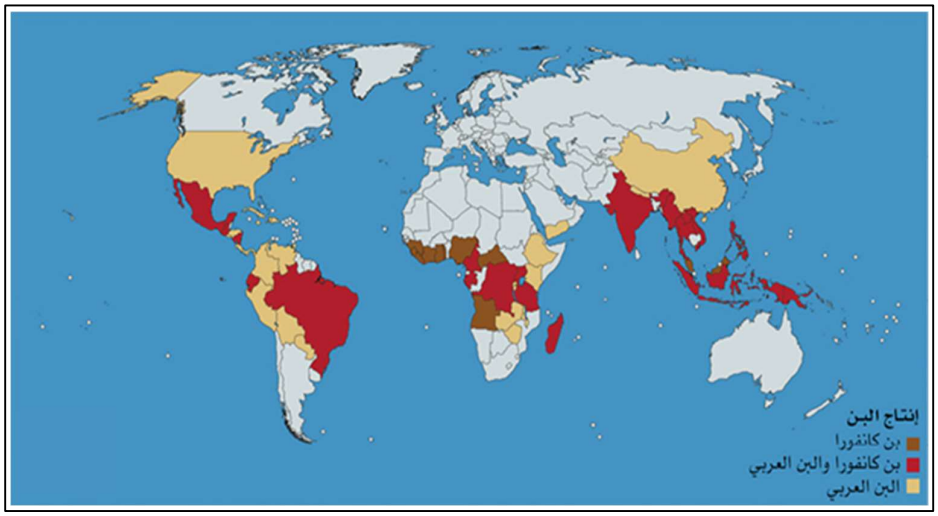
1.I. التعريف الكيميائي لنبات القهوة:

تُعد القهوة نباتًا استوائيًا دائم الخضرة .تُستخرج من بذوره المحمصة و المطحونة مشروب واسع الاستهلاك عالميا. تتميز القهوة باحتوائها على مركبات كيميائية نشطة، أهمها الكافيين، بالاضافة إلى الأحماض الفينولية و مضادات الأكسدة مما يكسبها خصائص منبهة و تأثيرات متعددة. Saud& (Salamatullah, 2021)

الشكل(1.I): يوضح أجزاء ثمرة القهوة

2.I. التوزيع الجغرافي لنبات القهوة:

يعود أصل نبات Coffeeإلى منطقة Kaffa في إثيوبيا، ومنها انتشر إلى جزيرة العرب ثم إلى تركيا وإيطاليا، قبل أن يصل إلى أمريكا، حيث توسعت زراعته خاصة في البرازيل.ويتركز التوزيع الجغرافي لنبات القهوة في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، حيث تتوفر ظروف مناخية ملائمة تتمثل في درجات حرارة مرتفعة، ورطوبة عالية (80–90٪)، ومعدل تساقط مطري يفوق 1500 مم سنويًا. كما ينمو على ارتفاعات تتراوح من مستوى سطح البحر إلى نحو 2400 م، كما في اليمن.وعليه، فإن انتشار زراعة القهوة يرتبط أساسًا بالعوامل المناخية والطبوغرافية، مما يحد من وجوده في نطاق جغرافي محدد ضمن الحزام الاستوائي.(موسوعة العلوم و التقانات،2019)

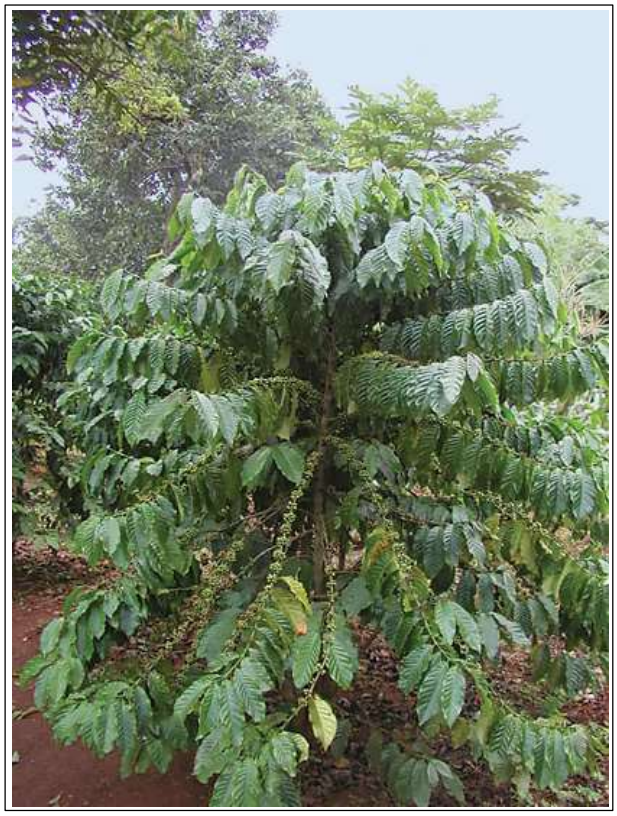


الشكل (2.I):مناطق زراعة البن بحسب نوع القهوة

I.3. الوصف المورفولوجي:

I.3.1. لنبات القهوة:

تنتمي شجرة القهوة إلى جنس Coffee، وهي نبات خشبي دائم الخضرة، يتراوح ارتفاعه طبيعيا بين 2و 10 أمتار حسب النوع و الظروف البيئية. تتميز بساق رئيسية قائمة تتفرع منها أفرع جانبية أفقية أو مائلة، ويتحكم في ارتفاعها زراعيا عبر التقليم لتسهيل عمليات الجني وتحسين الإنتاجية. تمتلك الشجرة نظاما جذريا متطورا يساعدها على امتصاص الماء و العناصر المعدنية من التربة بكفاءة.(الموسوعة العلوم و التقانات،2019)



الشكل(I.3):شجرة البن العربي

الأوراق: بسيطة، متقابلة، ذات شكل بيضي إلى رمحي، يتراوح طولها عادة بين 8 و 15 سم. تتميز بسطح أملس لامع و لون أخضر داكن نتيجة غناها بالكلوروفيل، مع حافة كاملة وعروق ريشية واضحة. تلعب دورا أساسيا في عملية البناء الضوئي، كما تساهم في تنظيم فقدان الماء عبر عملية النتح.(موسوعة العلوم والتقانات،2019)

الشكل(4.I) : أوراق البن لامعة دائمة الخضرة

الأزهار: صغيرة الحجم، بيضاء اللون، ذات رائحة عطرية مميزة، وتنمو في عناقيد عند آباط الأوراق. تتكون غالبا من خمس بتلات، وهي أزهار خنثى(تحتوي على الأعضاء الذكرية و الأنثوية معا)، مما يسمح بحدوث التلقيح الذاتي في معظم الأنواع. يتم الإزهار عادة في مواسم محددة ترتبط بتوفر الرطوبة.(موسوعة العلوم و التقانات،2019)

الشكل(5.I): أزهار البن بيضاء اللون ونجمي

I.2.3. لثمرة نبات القهوة:

ثمار القهوة تعرف باسم الكرز، وهي ثمار لحمية بيضوية الشكل. يبدأ لونها أخضر ثم يتحول إلى الأحمر(و أحيانا الأصفر) عند النضج. تتكون الثمرة من عدة طبقات تشمل القشرة الخارجية (exocarp) ، اللب (mesocarp) ، وغلاف البذرة (endocarp). تحتوي غالبا على بذرتين تمثلان حبوب القهوة، وقد توجد بذرة واحدة في بعض الحالات (حبة لؤلؤية).(موسوعة العلوم و التقانات،2019)

الشكل(I.6): ثمرة البن العنابية

4.I.أنواع القهوة:

تضم عائلة القهوة ما يقارب 124 نوعاً مختلفاً، إلا أن الاستغلال التجاري العالمي يرتكز بشكل أساسي على نوعين رئيسيين :**قهوة أرابيكا (Arabica)** وهي النوع الأكثر انتشاراً وإنتاجاً على المستوى العالمي .**قهوة كانيفورا (Canephora)** المعروفة بـ "روبوستا": وتأتي في المرتبة الثانية، حيث تغطي حوالي 25% من احتياجات السوق العالمي . يضم الجدول الموالي مقارنة بين خصائص أنواع اقهوة و زيوتها: (Ribeiro et al.,2024)

الجدول(1.I): فوارق أنواع القهوة

وجه المقارنة	قهوة أرابيكا(Arabica)	قهوة روبوستا (Canephra)
الأهمية التجارية	تمثل الحصة الأكبر عالميا	تمثل حوالي 25%من النتاج العالمي
محتوى الدهون	مرتفع(15% – 20%)	متوسط (10% – 17%)
الأحماض الدهنية	نسبة متساوية من حمض الستياريك و الأوليك	محتوى أقل من حمض الستياريك مقارنة بالأوليك
مركبات ثنائي التربين	غنية بالكافستول و الكاهويول	غنية ب o-methylcafestol-16 (نادر في أرابيكا)
نسبة الكافيين	منخفضة (حوالي1%)	مرتفعة(تصل إلى 2.7%)
المركبات الفينولية	تتراوح بين 4% – 8.4%	تتراوح بين 7% – 14.4%

5.I.التصنيف العلمي لنبات القهوة:

يصنف نبات القهوة على الشكل التالي:(بوليحة وبوصلاح،2022)

الجدول(2.I): التصنيف العلمي لنبات القهوة

Regne	***Plantae***	**نباتية**	***المملكة***
Division	*Angiospermae*	كاسيات البذور	***القسم***
Class	*Euasterids*	النجميات الحقيقية	***الطائفة***
Order	*Gentianales*	الجنطيانيات	***الرتبة***
Family	*Rubiaceae*	الفوية	***الفصيلة***
Sous-famille	*Ixoroideae*	اكسوراوات	***تحت الفصيلة***
Genus	*Coffea*	القهوة	***الجنس***

6.I. الإنتاج العالمي للقهوة:

تعد القهوة ثاني أكبر سلعة يتم تداولها وتصديرها على مستوى العالم بعد النفط ، وتشير التقديرات إلى أن حجم استهلاكها العالمي يبلغ نحو 2.25 مليار كوب يوميا وفق منظمة القهوة العالمية.وعلى صعيد الإنتاج يتوقع أن يبلغ إجمالي الإنتاج العالمي من البن بنوعيه نحو 171.425 مليون كيس، وتتصدر البرازيل قائمة الدول المنتجة ب 66.3 مليون كيس، تليها فيتنام ب 27.5 مليون كيس، ثم كولومبيا ب 11.5 مليون كيس.(محمود يوسف،2024)

أما على الصعيد الجزائري، فتحتل الجزائر مكانة متميزة وبارزة في خريطة الاستهلاك العالمي، إذ تتصدر الجزائر قائمة الدول العربية المستوردة للقهوة كما تحتل المركز العاشر على مستوى العالم في الاستراد .وفيما يخص الاستهلاك المحلي، احتلت الجزائر المركز ال 17 عالميا في الاستهلاك المحلي للقهوة بكمية بلغت 117 ألف طن خلال موسم 2023-2024، مما يجعلها أكبردولة عربية استهلاكا للقهوة و الثانية افريقياً بعد إثيوبيا.

وتؤكد أحدث بيانات منظمة القهوة الدولية أن الجزائر تتصدر قائمة الدول العربية الأكثر استهلاكا للقهوة بكمية تبلغ 126.000 طن سنويا، تليها مصر ب 74.520 طن ، ثم المملكة العربية السعودية

ب74.460طن.وتعكس هذه الأرقام المرتفعة ارتباطا تاريخيا وثقافيا عميقا للجزائريين بهذا المشروب، إذ تستهلكه جميع الطبقات الاجتماعية و الفئات العمرية بكميات كبيرة وفي أوقات متفرقة من اليوم. وهو مايعني في المقابل توليد كميات ضخمة ومتزايدة من مخلفات القهوة، تستوجب البحث العلمي الجاد في سبل تثمينها واستغلالها بدلا من إهدارها. (عبد الناصر حنو، 2024)(الوسط الجزائرية،2023) ,USDA) (2025

الجدول(3.I): أكبر10 دول انتاج للقهوة بالعالم(2024/2025)

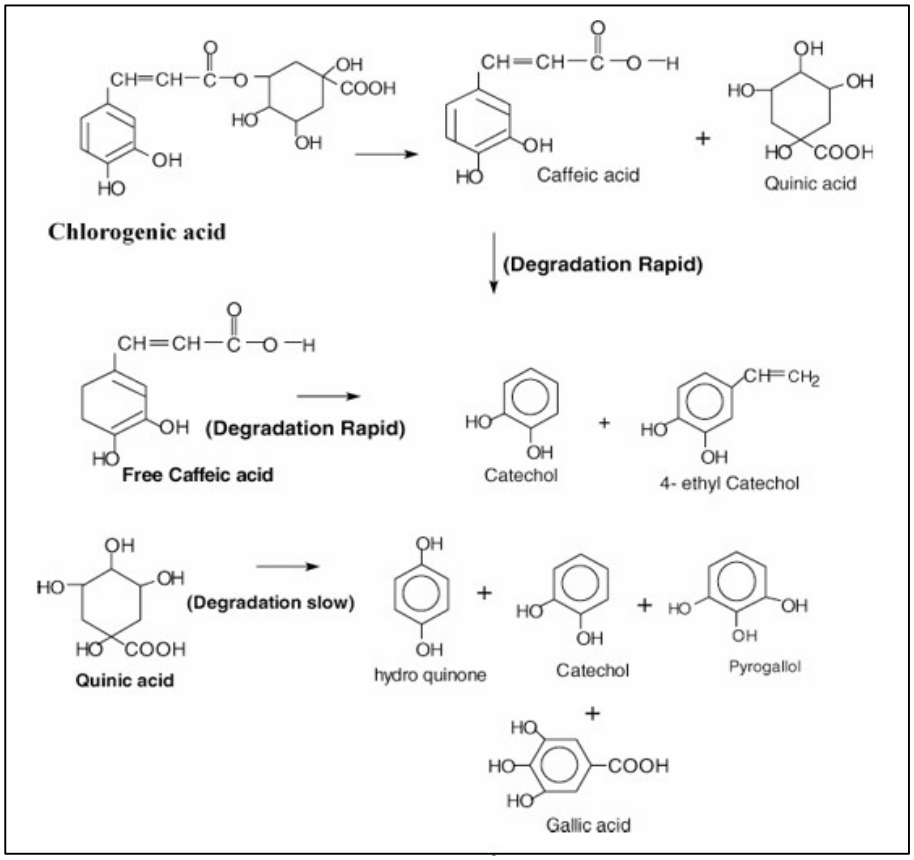
الرتبة	الدولة	الإنتاج (مليون كيس)
1	البرازيل	64.70
2	فيتنام	29
3	كولومبيا	13.20
4	إثيوبيا	10.63
5	إندونيسيا	10.70
6	أوغندا	6.70
7	الهند	6.20
8	هندوراس	5.52
9	بيرو	3.88
10	المكسيك	3.87

7.I.مراحل معالجة القهوة:

تمر حبوب القهوة بعدة مراحل معالجة تهدف إلى فصل البذور عن الثمرة وتحسين جودتها. وتُعد الطريقتان الرئيسيتان لمعالجة القهوة هما الطريقة الجافة (Dry process) والطريقة الرطبة (Wet process). في الطريقة الجافة، تُجفف الثمار كاملة تحت أشعة الشمس قبل إزالة القشرة، وهي طريقة تقليدية تُستخدم في المناطق ذات المناخ الجاف. أما الطريقة الرطبة، فتشمل إزالة اللب الخارجي باستخدام الماء، تليها عملية التخمير لإزالة الطبقة اللزجة، ثم الغسل والتجفيف. وتؤثر طريقة المعالجة بشكل مباشر على الخصائص الكيميائية والحسية للقهوة، بما في ذلك محتوى المركبات الفينولية والنكهة النهائية . (Mussatto et al., 2011)

I.8. تأثير التحميص على التركيب الكيميائي للقهوة:

تُعد عملية تحميص القهوة من أهم المراحل التي تحدد خصائصها النهائية، حيث تؤدي إلى حدوث تغيرات كيميائية معقدة، أبرزها Maillard reaction، الذي ينتج عنه تكوّن مركبات الميلانويدينات المسؤولة عن اللون البني والرائحة المميزة للقهوة. كما يؤدي التحميص إلى تحلل جزئي للمركبات الفينولية، خاصة أحماض الكلوروجينيك، مما قد يؤثر على النشاط المضاد للأكسدة. ومع ذلك، فإن المركبات المتكونة حديثًا خلال التحميص قد تُساهم أيضًا في تعزيز هذا النشاط، مما يجعل التأثير الكلي للتحميص معقدًا ويعتمد على درجة التحميص(Del Castillo,2002)



الشكل(I.7): المركبات الفينولية الناتجة أثناء عملية التحميص

9.I.القيمة الغذائية للقهوة ومخلفاتها:

يتم تصنيف القيمة الغذائية للقهوة ومخلفاتها حسب الجدول التالي: (Esquivel & Jiménez, 2012).

الجدول(4.I) : القيمة الغذائية و الأهمية الحيوية لمخلفات القهوة

المكون/العنصر	القيمة الغذائية	الأهمية الحيوية
الألياف الغذائية	مصدر مهما للألياف الغذائية	تساهم في تحسين عملية الهضم وتنظيم حركة الأمعاء، وقد تساعد في خفض امتصاص الدهون.
البروتينات	تحتوي على نسب متفاوتة من البروتينات	تدخل في بناء الأنسجة وتجديد الخلايا
الدهون	تضم كميات مختلفة من الدهون	مصدرا للطاقة وتساهم في امتصاص الفيتامينات الذائبة في الدهون
المعادن	تشمل معادن أساسية مثل البوتاسيوم، المغنسيومو الكالسيوم	ضرورية لوظائف الجسم الحيوية مثل توازن السوائل عمل العضلات وصحة العظام
المركبات النشطة بيولوجيا	تحتوي على الكافيين و المركبات الفينولية	تساهم في تنشيط الجهاز العصبي وصحة العظام

10.I.التعريف الكيميائي لتفل القهوة:

يعرف تفل القهوة كيميائيا بأنه نظام معقد يضم أكثر من 1500 مركّب كيميائي، تتوزع إلى نحو 850 مركبًا متطايرًا مسؤولا عن الخصائص العطرية، وحوالي 700 مركب قابل للذوبان في الماء. عند استخلاص القهوة مائيًا، تبقى غالبية المركبات الكارهة للماء ضمن البقايا الصلبة (التفل)، وتشمل هذه المركّبات الزيوت و الدهون ولاسيما الدهون الثلاثية و الأحماض الدهنية. كما تحتوي القهوة على مكونات غير قابلة للذوبان، مثل الكربوهيدرات الهيكلية كالسليلوز، و السكريات غير القابلة للهضم، إضافة إلى اللجنين ومركبات فينولية ذات دور وقائي، وزيوت أساسية تساهم بشكل رئيسي في تكوين الرائحة المميزة للقهوة. (Blinová et al., 2017)

الشكل(8.I): تفل القهوة

11.I. التركيب الكيميائي لتفل القهوة:

تُعد بقايا القهوة المطحونة منتجًا ثانويًا ناتجًا عن تحضير القهوة، إلا أنها غنية بمركبات ذات قيمة غذائية وبيولوجية. إذ تحتوي أساسًا على نسبة عالية من الألياف، إضافة إلى حوالي 10% من البروتين. كما تحتفظ بجزء من الدهون (حوالي 2%) المكوّنة من أحماض دهنية مهمة مثل اللينوليك والبالميتيك والأوليك.وتتميز أيضًا باحتوائها على مركبات نشطة بيولوجيًا، مثل الكافيين وحمض الكلوروجينيك، إلى جانب مركبات ثنائية التربين (الكافستول والكاهويول). كما تُعد مصدرًا لبعض المعادن الأساسية كالبوتاسيوم والمغنيسيوم والفوسفور والكالسيوم والحديد، مما يمنحها أهمية في التطبيقات الغذائية والبيئية.(Choe.2025)

1.11.I. المكونات الرئيسية (التركيب العام):

تفل القهوة يحتوي أساسًا على مجموعة من المركبات الكيميائية المتنوعة التي تمنحه خصائص مميزة، مما يجعله مادة قابلة للاستغلال في عدة مجالات.من بينها:

- الألياف الغذائية (Dietary fiber) : تمثل حوالي 50–60% من الكتلة الجافة.
- البروتينات: حوالي 10–17%.
- الدهون(Lipids) : حوالي 2–15% حسب المصدر
- المعادن (Ash/Minerals): حوالي 0.1–5%
- مركبات نشطة بيولوجيًا (Bioactive compounds). (Choe.2025) (Kovalcik et al., 2018).

I.2.11. التركيب الليغنوسليلوزي(Lignocellulosic composition) :

تفل القهوة غني بالمواد الهيكلية النباتية تتمثل في :

- السليلوز(Cellulose):≈ $8 - 12\%$
- الهيميسليلوز(Hemicellulose) : ≈ $36 - 39\%$
- اللجنين (Lignin): ≈ $20 - 24\%$ (Priena & Handajani, 2023)

I.3.11. السكريات والمركبات الكربوهيدراتية:

تعد السكريات والمركبات الكربوهيدراتية من المكونات المهمة في تفل القهوة،حيث تمثل جزءا من البنية العضوية المتبقية بعد عملية الاستخلاص. وتساهم هذه المركبات في تحديد بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتفل القهوة حيث تتمثل في:

- مانوز(Mannose)
- غالاكتوز(Galactose)
- أرابينوز(Arabinose)

وهي ناتجة عن تفكك الهيميسليلوز والبوليسكاريدات (Priena & Handajani, 2023)

I.4.11. الدهون والأحماض الدهنية:

تشكل الدهون جزءا من التركيب الكيميائي لتفل القهوة حيث تساهم في ابراز خصائه الفيزيائية و الكيميائية وتشمل مايلي:

- حمض اللينوليك (Linoleic acid)
- حمض البالميتيك (Palmitic acid)
- حمض الأوليبك (Oleic acid)
- حمض الستيريك (Stearic acid) ،(Choe.2025)

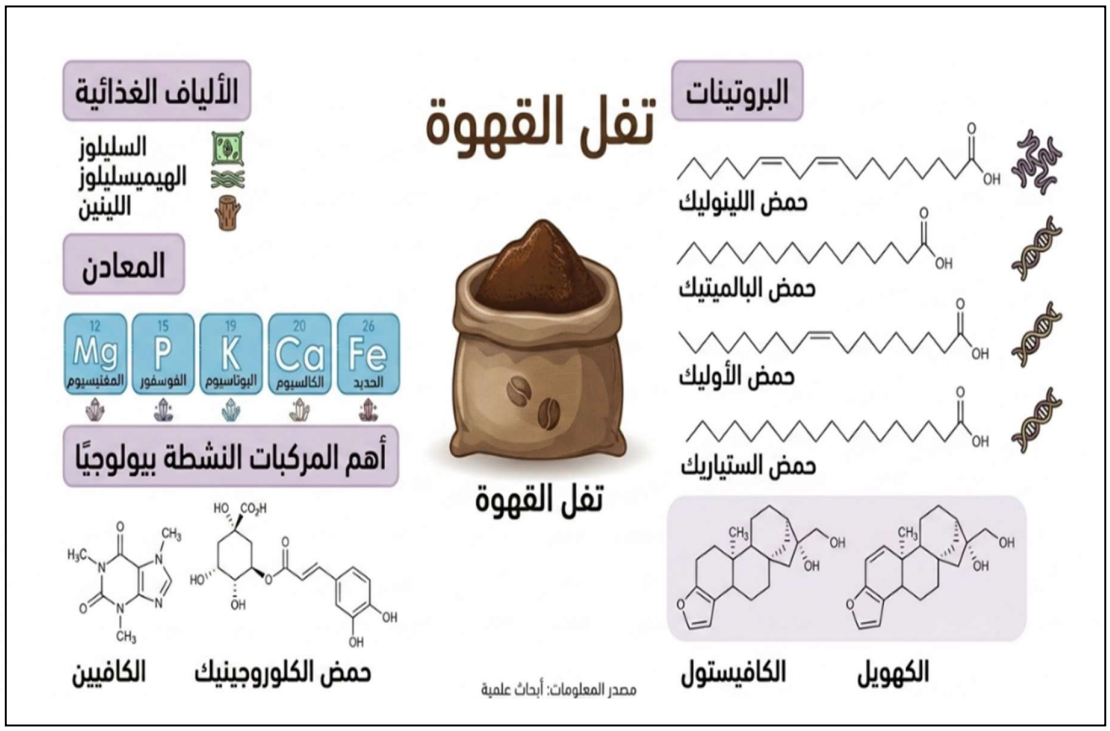
I.5.11. المعادن والعناصر:

تعد المعادن و العناصر غير العضوية من المكونات المهمة في تفل القهوة و من أهم العناصر الموجودة: الكربون(C) ،الأكسجين(O) ،البوتاسيوم(K) ،الكالسيوم(Ca) ،المغنيسيوم(Mg) ،الحديد (Fe) (Thiam, Sene, Balland & Touré, 2024)

I.6.11. المركبات الفينولية ومضادات الأكسدة:

تعد المركبات الفينولية من أهم المكونات النشطة في تفل القهوة نظرا لدورها كمضادات أكسدة تساهم في ابراز خصائصه الحيوية و الكيميائية.ورغم الاستخلاص، يبقى في تفل القهوة:

- أحماض فينولية
- بقايا حمض الكلوروجينيك (Chlorogenic acids) مسؤولة عن النشاط المضاد للأكسدة. (Choe.2025)



الشكل(I.9): التركيب الكيميائي لبقايا القهوة

I.12. الدراسات السابقة:

تُعدّ القهوة من أكثر المشروبات استهلاكاً على مستوى العالم، إذ يُنتج سنوياً ما يزيد عن 10 ملايين طن من حبوب القهوة الخضراء، مما يُفضي إلى توليد كميات هائلة من المخلفات الجانبية في مختلف مراحل التصنيع والاستهلاك. وقد استقطبت هذه المخلفات اهتماماً متزايداً من الباحثين في مجال كيمياء المنتجات الطبيعية نظراً لغناها بمجموعة من المركبات الفعّالة ذات القيمة البيولوجية والصيدلانية العالية.

أجرى **(Murthy& Naidu ,2012)** ودراسة مرجعية شاملة حول الإدارة المستدامة لمخلفات صناعة القهوة، حيث وثّقا التركيب الكيميائي التفصيلي لكل نوع من أنواع المخلفات. وقد كشفت الدراسة أن ثُفل القهوة المستهلكة يحتوي على نسبة 15-28% دهون خام، و10-15% بروتينات، ونحو 45-55% مكونات جدار خلوي (سليولوز، همي-سليولوز، لغنين). وخلص الباحثان إلى أن هذه المخلفات يمكن توظيفها في مسارات تكنولوجية متعددة بدلاً من إتلافها.

وفي السياق ذاته، قدّم **(Esquivel& Jiménez ,2012)** ومراجعة علمية معمّقة حول الخصائص الوظيفية لمنتجات ثانوية تُستخلص من ثمرة القهوة، مُوثّقَين وجود مجموعات متنوعة من المركبات الفينولية الحرة والمرتبطة، والقلويدات، والكاروتينويدات في لبّ القهوة وقشرتها. وأكدت الدراسة أن هذه المركبات تتباين تبايناً ملحوظاً بحسب الصنف النباتي وظروف الزراعة والتصنيع.

كما استعرض **(Campos-Vega et al,2015)** مجمل الأبحاث المتعلقة بالمنتجات الثانوية للقهوة بوصفها مصادر شبه دوائية (Quasi-drugs)، مُقيّمين محتواها من المركبات النشطة وقابليتها للاستثمار في صناعة المكملات الغذائية والأدوية الوظيفية. وقد صنّف الباحثون مخلفات القهوة ضمن أعلى المخلفات الزراعية الغذائية قيمةً من الناحية الكيميائية الحيوية.

تناول **(Mussatto et al., 2011)** دراسةً تفصيليةً لتركيب ثُفل القهوة المستهلكة وتطبيقاته، فوجدوا أن هذه المادة تحتوي على تركيزات عالية من حمض الكافيك (Caffeic acid) وحمض الكوماريك (Coumaric acid) إلى جانب حمض الكلوروجينيك. كما أكدت الدراسة وجود جالاكتوز ومانوز وعربينوز بنسب مرتفعة في التركيب السكاروزي لجدار الخلية، مما يمنح هذه المخلفات قيمة صناعية للتخمر والحصول على إيثانول حيوي.

وفي إطار مشابه، درس **(Zuorro & Lavecchia, 2012)** كفاءة استخلاص المركبات الفينولية من ثُفل القهوة باستخدام مذيبات متعددة (الماء، الإيثانول، الأسيتون)، وأثبتا أن الاستخلاص المائي الحار يُعطي

أعلى مردود من مجموع الفينولات الكلية مقدَّرًا بـ 3.8 مغ/GAE غ وزن جاف، في حين يُفضّل الاستخلاص بالإيثانول 80% للحصول على أحماض الكلوروجين بتركيزات أعلى.

وقد أضاف **(Rodrigues et al., 2015)** بُعداً تقنياً متقدماً بدراسة استخلاص مركبات القهوة بالميكروويف(MAE) ، حيث أثبتوا أن هذه التقنية تُحقق استخلاصاً أسرع وأكثر انتقائيةً مقارنةً بالطرق التقليدية، إذ تُستخرج أحماض الكلوروجين الكاملة خلال 5-10 دقائق مع الحفاظ على سلامتها الكيميائية.

حلّل **(Bae et al., 2019)** التركيب الفيتوكيميائي لقشرة القهوة من أصناف مختلفة مُستعملين تقنيات HPLC-MS، فكشفوا عن هوية 35 مركباً فينولياً مختلفاً، من بينها ايزومرات حمض الكلوروجينيك، وحمض الفيروليك، وبروسيانيدينات الكاتيكين. وقد أثبتت الدراسة أن قشرة القهوة تحتوي على تركيز من الفينولات يفوق ذلك الموجود في ثُفل القهوة بنحو 30-40.%.

وتناول **(Jimenez-Zamora et al., 2015)** مسألة الاستعادة القيمية (Revalorization) لمخلفات القهوة، مُركِّزين على قشرة القهوة ومكوناتها من السكريات والبروتينات والمعادن الأثرية. وقد أشارت النتائج إلى غنى هذه القشرة بالبوتاسيوم والمنغنيز والزنك، مما يجعلها مادةً صالحةً للتسميد البيولوجي وإنتاج العلف الحيواني.

طوّر **(Farah & Donangelo, 2006)** هذا الإطار في دراسة شاملة حول دور المركبات الفينولية في القهوة، مُثبِتَين أن الحبوب الخضراء تحتوي على 6-12% من حمض الكلوروجينيك على أساس الوزن الجاف، وأن عمليات التحميص تُحلل نحو 50-80% من هذه الأحماض، مولِّدةً مشتقاتٍ ثانويةً كاللاكتونات الكلوروجينية وأحماض الكينيك الحرة.

أما **(Farah et al., 2006)** فقد أجروا تحليلاً مقارناً دقيقاً بين أنواع القهوة المختلفة (Arabica وRobusta) من حيث محتواها من أحماض الكلوروجين، ووجدوا أن قهوة الروبوستا أغنى بهذه الأحماض بنحو ضعفين مقارنةً بالأرابيكا، مما يُفسّر الاختلافات في القيمة الدوائية والطعم المُرّ بين الصنفين.

درس **(Stalmach et al., 2009)** التوافر الحيوي (Bioavailability) لأحماض الكلوروجين من القهوة لدى الإنسان باستخدام تقنيات التتبع الإشعاعي وتحليل البول، فأثبتوا أن امتصاص هذه الأحماض يتمّ على مستويين: امتصاص مبكر في الأمعاء الدقيقة (نحو 33%) وامتصاص لاحق في القولون بعد تحوّلات ميكروبية (نحو 67%).

وقدّم **(Bravo et al., 2012)** أدلةً تجريبيةً على أن المركبات الفينولية في مخلفات القهوة تحافظ على استقرار كيميائي أفضل مقارنةً بتلك المستخرجة من الحبوب نفسها، مُعزّزين هذه الفرضية بتحاليل زوال الألوان (Decolorization assays) ورنين المغناطيسي النووي.

أجرى **(Vignoli et al., 2011)** مقارنةً منهجيةً للنشاط المضاد للأكسدة في أنواع مختلفة من مستخلصات القهوة باستخدام ثلاث طرق قياسية متوازيةDPPH :، وABTS، و .FRAPوكشف البحث أن مستخلص ثُفل القهوة يُظهر نشاطاً مضاداً للأكسدة يتراوح بين 78-110 µmol TE/g وزن جاف، قابلاً للمقارنة بكثير من المستخلصات النباتية الخام.

وبيّن **(Liang & Kitts, 2014)** من خلال دراسة تحليلية أن القدرة المضادة للأكسدة في مخلفات القهوة تتوزع بين المركبات القطبية وغير القطبية على حدٍّ سواء: فالمركبات الفينولية تُهيمن على النشاط المائي الذواب، في حين تُسهم الديتربينات والتوكوفيرولات في المرحلة الدهنية الكارهة للماء.

أولى **(Del Castillo et al., 2002)** اهتماماً بالغاً بالميلانويدينات القهوة (Coffee Melanoidins)، وهي بوليمرات بنية سوداء تتشكّل بتفاعل مايلار خلال التحميص. وأثبتت الدراسة أن هذه الجزيئات الكبيرة تمتلك نشاطاً مضاداً للأكسدة مستقلاً عن المركبات الفينولية الصغيرة، وقدّر الباحثون مساهمتها في النشاط المضاد للأكسدة الكلي للقهوة بنحو 30%.

وقدّم **(Kondamudi et al., 2008)** نهجاً مبتكراً بدراسة ثُفل القهوة كمصدر متعدد الاستخدامات، حيث وجدوا أن الجزء الدهني المستخلص من الثُّفل يمتلك نشاطاً مضاداً للبكتيريا السالبة للغرام بفضل تركيبه من الأحماض الدهنية غير المشبعة وبعض الفينولات الكارهة للماء.

ناقش **(Wintgens, 2004)** في مرجعٍ متكامل لتقنيات تصنيع القهوة التركيب الدهني الكامل لحبة القهوة والمخلفات المشتقة منها، مُثبِتاً أن الجزء الدهني يحتوي على 65-72% من ثلاثيات الغليسريد، و6-8% من الديتربينات الحرة، و5-8% من الستيرولات النباتية (كالبيتا-سيتوستيرول). كما وثّق الكتاب الاختلافات الجوهرية في التركيب الدهني بين أصناف الأرابيكا والروبوستا.

وأجرى **(Toci et al., 2016)** دراسة كيميائية حرارية لتحليل المركبات المتطايرة في مخلفات تحميص القهوة، مُعتمِدين على GC-MS وتقنيات التفريق الحراري .(TGA) وكشفت النتائج عن وجود أكثر من 70 مركباً متطايراً في الثُّفل، منها فيوران، وبيرول، ومشتقات الكيتون والألدهيد، مما يُشير إلى تعقيد التحولات الحرارية في هذه المخلفات.

وأكّد **(Peleteiro et al., 2015)** قيمة الدهون المستخلصة من ثُفل القهوة كمادة خام لتقنيات معالجة حديثة، إذ استخدموا سائل ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج ($SC\text{-}CO_2$) لاستخلاص دهون القهوة، محققين نقاءً عالياً للكافيستول والكاهويول (98.5%) دون استخدام مذيبات عضوية سامة، مما يُمثّل نقلةً نوعيةً للتطبيقات الصيدلانية والغذائية.

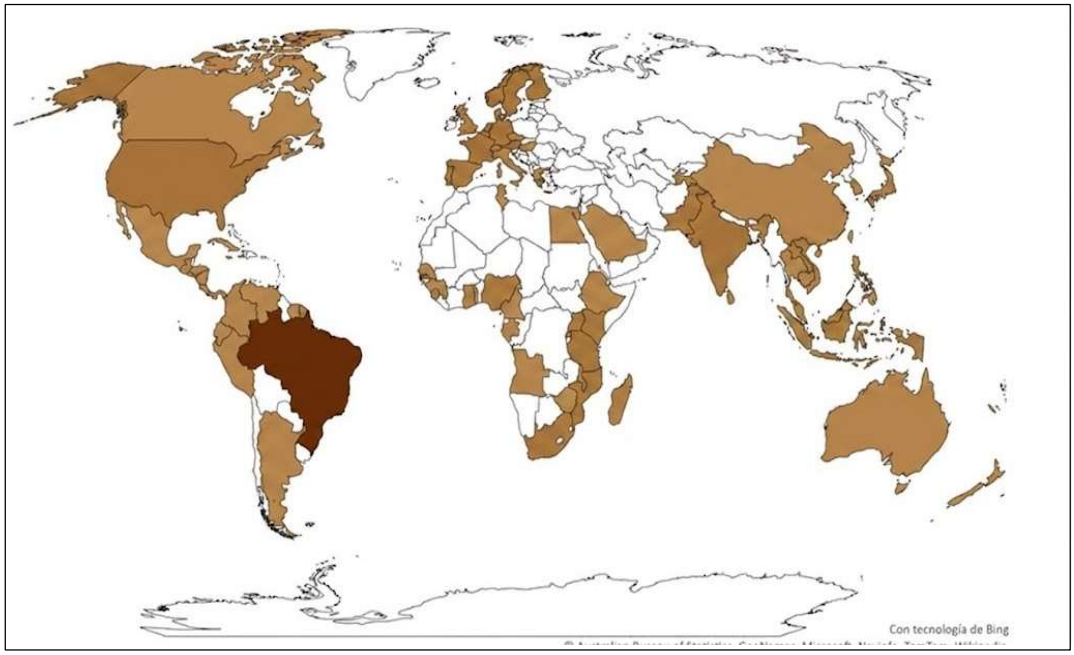
رصد **(Mussatto et al., 2011)** في دراستهم البانورامية مجمل الاستخدامات الحالية والمستقبلية لثُفل القهوة المستهلكة، والتي تشمل: إنتاج الوقود الحيوي (Bioethanol) و(Biodiesel)، وتوليد الغاز الحيوي عبر الهضم اللاهوائي، وإنتاج الفطريات الغذائية، وصناعة مستحضرات التجميل، وتصنيع المواد الماصة للمعادن الثقيلة.

وأثبت **(Kondamudi et al., 2008)** في دراسة رائدة أن ثُفل القهوة قد يُشكّل مصدراً واعداً للديزل الحيوي، محققين معدّل تحويل يصل إلى 100% بتفاعل إسترة عرضية (Transesterification) في الظروف المثلى، مع مردود إجمالي من الدهون يتراوح بين 10-15%.

وفي مجال الهندسة البيئية، أثبت **(Zuorro & Lavecchia, 2012)** فعالية ثُفل القهوة كمادة ماصة (Biosorbent) لإزالة أصبغة الأنيونات (Anionic dyes) من المياه الملوثة، وأن الكفاءة الإزالية تتجاوز 95% عند ضبط الـ pH في حدود 3-4، مما يُبشّر بتطبيقات واعدة في معالجة مياه الصرف الصناعي.

I.13.التوزع الجغرافي للإنتاج العلمي لمخلفات القهوة:

تشير الدراسات الببليومترية الحديثة إلى وجود نمو أسي (Exponential Growth) في الإنتاج العلمي المتعلق بعلوم زراعة القهوة منذ ستينيات القرن الماضي وحتى عام 2020، حيث سجل البحث العلمي ذروة إنتاجية وصلت إلى 120 مقالاً سنوياً في عام 2020. ويعكس هذا التزايد اهتماماً دولياً متصاعداً بتطوير تقنيات زراعة القهوة لمواجهة التحديات المعاصرة.حيث تتصدر البرازيل المشهد العالمي في إنتاج المعرفة العلمية حول القهوة، حيث تساهم بنسبة 40% من إجمالي الأبحاث العالمية (655 مقالاً)، تليها فرنسا والولايات المتحدة. وتبرز مؤسسات مثل جامعة لافراس الاتحادية (UFLA) كأقطاب بحثية رائدة في هذا المجال.(Madrid-Casaca et al., 2021)



الشكل(10.II): التوزيع الجغرافي العالمي للإنتاج العلمي المتعلق ببحوث القهوة ومخلفاتها

الفصل الثاني

عموميات حول

الزيوت الثابتة

II.الليبيدات:

تعد الدهون و الزيوت سواء المخصصة للاستهلاك الغذائي المباشر أو الداخلة في تركيب العديد من المنتجات الغذائية، من المصادر الأساسية للطاقة في جسم الإنسان، حيث يلجأ إليها الجسم لتلبية احتياجاته عند الضرورة. وتمتاز الدهون بقيمتها الطاقوية المرتفعة، إذ توفر ما يقارب ضعف السعرات الحرارية التي توفرها البروتينات و الكربوهيدرات. إضافة إلى ذلك ، تساهم في تزويد الجسم بمركبات غذائية ضرورية ، من بينها الأحماض الدهنية الأساسية و الفيتامينات الذائبة في الدهون ، و التي تؤدي دورا مهما في الحفاظ على الحالة الغذائية و الصحية. (مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، 2011)

II.1. تعريف:

الدهن (Fat): يستخدم لوصف المواد غير القابلة للذوبان في الماء و التي تتميز بملمس شمعي.

الزيت (Oil): مصطلح يشير إلى الحالة الفيزيائية السائلة للمادة عند درجة حرارة الغرفة، ولا يعبر عن تركيبها الكيميائي.(رضوان صدقي فرج،1995)

تُعرّف الليبيدات (الدهون و الزيوت) على أنها مجموعة متباينة من المركبات العضوية ذات الأصل الطبيعي، تتميز أساسا بعدم ذوبانها في الماء و قابليتها للذوبان في المذيبات العضوية، وتلعب دورا حيويا في البنية الخلوية و الوظائف البيولوجية. (مصطفى بن علي،2018)

ويمكن تلخيص خصائصها فيما يلي:

- غير قابلة للذوبان في الماء وتذوب في المذيبات العضوية مثل الإيثر و الهكسان و الكلوروفورم.
- تتكون أساسا من الكربون و الهيدروجين و الأكسجين، وقد تحتوي بعض أنواعها على الفوسفور أو النيتروجين.
- تتميز ببنية جزيئية غنية بسلاسل هيدروكربونية طويلة.
- توجد في الكائنات الحية أو تستخلص منها.
- تساهم في تكوين البنية الأساسية للخلايا عند ارتباطها بالبروتينات و الكربوهيدرات.
- تكون غالبا في الحالة السائلة أو شبه الصلبة عند درجة حرارة الغرفة.
- ضعيفة القابلية للتبلور مقارنة ببعض المركبات العضوية الأخرى.(خضرة عزري،2013)

2.II. أهمية الزيوت و الدهون:

1.2.II. الأهمية الفيزيولوجية للزيوت:

تُصنّف الليبيدات ضمن العناصر الغذائية الكبرى التي لا يقتصر دورها على تزويد الجسم بالطاقة فحسب، بل تمتد وظائفها لتشمل جوانب فيسيولوجية و بنيوية متعددة. فهي تُعد من أكثر المركبات كثافة في الطاقة، حيث يوفر استقلابها مردودا طاقويا مرتفعا مقارنة بباقي المغذيات، ما يجعلها ضرورية لتغطية الاحتياجات الحيوية. كما تضطلع بدور أساسي في تسهيل امتصاص الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون و نقلها داخل الجسم، الأمر الذي ينعكس إيجابا على العديد من العمليات الحيوية.

من جهة أخرى تمثل الليبيدات المصدر الرئيسي للأحماض الدهنية الأساسية التي لا يمكن للجسم تخليقها ذاتيا، مما يستوجب الحصول عليها عبر النظام الغذائي. وتساهم كذلك في تحسين الخصائص الحسية للأغذية، خاصة من حيث النكهة و القوام، وهو ما يعزز تقبلها وعلى المستوى البنيوي، تدخل الدهون في تركيب الأغشية الخلوية وتكوين بعض الأنسجة الحيوية، لاسيما في الجهاز العصبي.

حيث تُعرف الليبيدات وظيفيا بتأثيرها في تنظيم الإحساس بالشبع، إذ تؤدي إلى إبطاء إفراغ المعدة، مما يطيل مدة بقاء الغذاء في القناة الهضمية.إضافة إلى ذلك تؤدي دورا وقائيا مهما، حيث تعمل الطبقة الدهنية تحت الجلد على الحد من فقدان الحرارة، كما توفر حماية ميكانيكية للأعضاء الداخلية من خلال امتصاص الصدمات.(بن علي مصطفى،2018)

2.2.II. الأهمية الإقتصادية للزيوت:

تُعد الزيوت النباتية ركيزة أساسية في التجارة الدولية، حيث تلعب دورا مزدوجا في تعزيز الاقتصاد العالمي و الأمن الغذائي ، وتتلخص أهميتها في الأبعاد التالية:

- **القيمة الصناعية و التحويلية :** تمثل الزيوت مادة خاما استراتيجية تتجاوز قطاع التغذية و التعليب لتشمل الصناعات الكيميائية، الصيدلانية، ومستحضرات التجميل، مما يرفع من قيمتها المضافة في الأسواق.

- **التمكين الاقتصادي و الأمن الغذائي :** توفر المحاصيل الزيتية مصدرا حيويا للدخل في المناطق الريفية بالدول النامية، وتشكل عنصرا بنيويا في النظم الغذائية العالمية نظرا لضرورتها في التغذية البشرية. (Food and Agriculture Organization [FAO], 2010) (OECD/FAO, 2022)

II.3.2. الأهمية الصناعية و الغذائية للزيوت:

أ – الأهمية الغذائية :

- تعد من المواد الغذائية الأساسية الموجهة للإستهلاك البشري.
- تتكون أساسا من غليسيريدات الأحماض الدهنية وتعد مصدرا مهما للطاقة.
- تتحدد قيمتها الغذائية حسب نوعية ونسب الأحماض الدهنية(مثل حمضي الأوليك و اللينوليك).
- تحتوي على مركبات نشطة مثل التوكوفيرولات و التوكوترينولات(فيتامين E)
- تعمل هذه المركبات كمضادات أكسدة تساهم في حماية الجسم وتحسين استقرار الزيت. (USDA، 2026)

ب – الأهمية الصناعية :

- تخضع لعمليات تقنية مثل التجزئة لفصل مكوناتها حسب الخصائص.
- تستخدم في عدة تطبيقات صناعية، خاصة في الصناعات الغذائية.
- تدخل في القلي العميق بفضل خصائصها الحرارية
- يمكن إضافة مواد محسنة مثل مضادات الرغوة لضمان كفاءة الإستخدام. (Codex Alimentarius Commission, 1999)

II.4.2. العلاج الطبيعي بالزيوت و الدهون:

- **زيت البصل:** يعد مصدرا غنيا بالعناصر الحيوية كالفيتامينات ، الأملاح المعدنية، الكبريت، و الجلوكنين، مما يمنحه خصائص علاجية متعددة تشمل العمل كمضاد حيوي ومطهر طبيعي، و المساهمة في علاج الالتهابات، نزلات البرد، الأمراض الجلدية، وتخليص الجسم من السموم و الدهون المتراكمة.(إيمان بشير،د.ت)
- **زيت الزيتون:** يعمل عند شربه كمنشط لوظائف الكبد ومفتت لحصى المرارة، ويستعمل دهانا لتقوية بصيلات الشعر.(خضرة عزري،2013)
- **زيت الجوجبا:** يعد عاملا علاجيا وتجميليا متعدد الوظائف، حيث يساهم في تحسين الحالة الصحية و الجمالية للبشرة من خلال مكافحة حب الشباب الإكزيما، و العد الوردي، وتقليل التجاعيد و الإفرازات الدهنية الزائدة، فضلا عن دوره في تعزيز صحة الأظافر ، تغدية الشعر وحمايته، و المساعدة في ترميم الكعوب المتشققة و الوقاية من أضرار الأشعة الشمسية.(إيمان بشير، د.ت)

- **زيت الخس:** تتعدد الخصائص العلاجية و الوقائية لهذا المستخلص النباتي لتشمل محاربة الأورام السرطانية، خفض الكوليسترول الضار، تنظيم مستويات السكر، وتعزيز صحة القلب و الدورة الدموية، بالإضافة إلى فاعليته في حماية الخلايا العصبية ، علاج اضطرابات الجهازين التنفسي و البولي، مع مراعاة اثاره الجانبية المحتملة كالغثيان عند الإفراط في تناوله.(إيمان بشير،د.ت)
- **زيت السمسم:** يساهم هذا الزيت النباتي في تعزيز الصحة العامة من خلال دعم الوظائف الحيوية لأجهزة الجسم (القلبي الوعائي، التنفسي، الهضمي)، وتنظيم مستويات الكوليسترول، وتقوية الجهاز المناعي، بالإضافة إلى خصائصه الوقائية ضد التجلطات و القرحة ، ودوره في تحسين البشرة .(إيمان بشير،د.ت)
- **زيت الشذاب:** يظهر هذا الزيت المستخلص بطريقة التقطير خصائص علاجية متعددة تشمل تسكين الآلام (كالصداع و آلام الأسنان و..)،ومعالجة اضطرابات الجهاز الهضمي و التنفسي، بالإضافة إلى دوره في تنظيم الخصوبة و المساهمة في التدبير العلاجي لأمراض القلب ، الصرع، وبعض الحميات الفيروسية.(إيمان بشير، د.ت)
- **زيت حبة البركة:** يتميز بخصائص علاجية للجهاز التنفسي (كالربو و السعال)، ويعمل كمنشط مناعي ووقائي ضد السرطان وتليف الكبد و الفشل الكلوي، بالإضافة إلى فاعليته كمسكن للآلام الروماتزمية و الصداع.(خضرة عزري،2013)
- **زيت القرنفل:** يعد مسكنا موضعيا فعالا لآلام الأسنان، ومنشطا للدورة الدموية وعضلة القلب، كما يستخدم كمضاد للروماتزم و الرشح وطارد للديدان.(خضرة عزري،2013)
- **زيت جوز الطيب:** يحتوي على زيوت طيارة تساهم في علاج الروماتزم المزمن و اضطرابات الجهاز الهضمي، ويدعم صحة الكبد و الطحال و المعدة مع تعزيز القدرة البصرية.(خضرة عزري 2013)

3.II. تصنيف الزيوت والدهون (Classification of Fats and Oils) :

يمكن تصنيف الزيوت النباتية اعتمادا على مجموعة من الخصائص الأساسية، ويبين الجدول التالي أهم هذه التصنيفات. (مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، 2011)

الجدول(1.II): تصنيف الزيوت

معيار التصنيف	النوع	أمثلة
حسب المصدر	زيوت البذور	زيت السمسم، زيت الذرة، زيت دوار الشمس.....
	زيوت الثمار	زيت الزيتون، زيت النخيل ،زيت الكاجو....
حسب الإستعمال	زيوت غذائية	زيت زيتون، زيت صويا.....
	زيوت طبية	تدخل في المستحضرات الصيدلانية
	زيوت صناعية	صناعة الصابون، الدهانات...
	زيوت عطرية	العطور، مستحضرات التجميل...
حسب التركيب الكيميائي	زيوت مشبعة	تحتوي على أحماض دهنية مشبعة
	زيوت غير مشبعة	أحادية أو متعددة عدم التشبع
حسب الحالة الفيزيائية	زيوت سائلة	أغلب الزيوت النباتية
	دهون صلبة	زيت النخيل
حسب طريقة الإستخلاص	الضغط(العصر)	زيوت طبيعية غير مكررة
	المذيبات	زيوت مستخلصة كيميائيا
	مكررة/غير مكررة	حسب المعالجة الصناعية

1.3.II. تصنيف الزيوت كيميائيا:

يعتمد التصنيف العلمي للزيوت والدهون بشكل أساسي على معيارين: طبيعة الأحماض الدهنية المكونة لها، والمصدر الحيوي الذي استُخلصت منه.(طارق إسماعيل كاخيا،2006)

1.1.3.II. بناءً على درجة التشبع:

الرقم اليودي (Iodine Value) المعيار الكيميائي المعتمد لقياس درجة عدم التشبع (عدد الروابط المضاعفة) في الزيت. يُعرف الرقم اليودي بأنه عدد غرامات اليود التي تتفاعل مع 100 غرام من

الزيت.وبناءً على قابليتها للأكسدة الذاتية عند التعرض للهواء، تُقسم الزيوت السائلة إلى ثلاث مجموعات: (طارق اسماعيل كاخيا،2006)

- **الزيوت اللاجفوفة (Non-Drying Oils) :**

✓ **التركيب الكيميائي:** تتكون من أحماض دهنية مشبعة (مثل الستياريك والبالمتيك) أو أحماض أحادية عدم التشبع (مثل حمض الأوليك).

✓ تتميز باستقرار كيميائي عالٍ؛ حيث لا تعاني من تفاعلات الأكسدة الذاتية أو تكون بطيئة جداً. رقم اليودي أقل من 110. (اللحام وآخرون، 1981)

- **الزيوت شبه الجفوفة (Semi-Drying Oils) :**

✓ **التركيب الكيميائي:** تحتوي على نسبة مرتفعة من حمض اللينولييك (رابطتين مضاعفتين) ونسبة منخفضة من حمض اللينولينيك.

✓ رقم اليودي فيها بين 110 و145. (اللحام وآخرون، 1981)

- **الزيوت الجفوفة (Drying Oils) :**

✓ **التركيب الكيميائي:** تحتوي على أحماض دسمة بها رابطتين أو ثلاث روابط مضاعفة، وتتكون أساساً من غليسيريدات حمضي اللينوليئيك واللينولينيك.آلية الجفاف: عند تعرض طبقة رقيقة من الزيت للهواء، تتأكسد بفعل الأكسجين الجوي لتشكل غشاءً صلباً مرناً .

✓ يرتفع رقمها اليودي ليكون أعلى من 145.(اللحام وآخرون،1981)

- **وفقاً للمصدر الحيوي:**

تُصنف الزيوت والدهون حسب منشئها إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

الجدول(2.II): تصنيف الزيوت حسب مصدرها

مجموعة المصدر	الخصائص العامة	أمثلة
مجموعة الزيوت النباتية	تسود فيها أحماض دهنية (C12 - C18)؛ تتأثر مواصفاتها بالمناخ والتربة والري.	زيت الزيتون، زيت الذرة
الدهون الحيوانية	تؤخذ من الأنسجة الدهنية للحيوانات البرية.	الدهون الصلبة الحيوانية
الزيوت الحيوانية البحرية	تتميز بكونها زيوت جفوفة عالية النشاط	زيت كبد القرش، زيت الحوت

4.II. أقسام الليبيدات:

يمثل تصنيف الليبيدات تحديا منهجيا نظرا لتعقد وتنوع تركيبها الكيميائي، حيث تمتد بنيتها من سلاسل كربونية بسيطة لتشمل الستيرولات و الدهون المركبة ذات الوظائف الحيوية المتعددة. وتتفاوت أدوارها الوظيفية في العضوية بشكل واسع بدءا من تخزين الطاقة، وصولا إلى العمل كمحفزات كيميائية و هرمونات و فيتامينات أساسية. وبناء على هذه الخصائص البنيوية و الوظيفية، تصنف الليبيدات إجمالا إلى ثلاث فئات رئيسية:

1.4.II. الليبيدات البسيطة Lipids Simple:

الليبيدات البسيطة هي مركبات كيميائية تتألف حصراً من نوعين من المكونات الكيميائية، وهي تنقسم بشكل أساسي إلى أربعة أنواع رئيسية حسب تركيب الكحول المرتبط بالأحماض الدهنية :

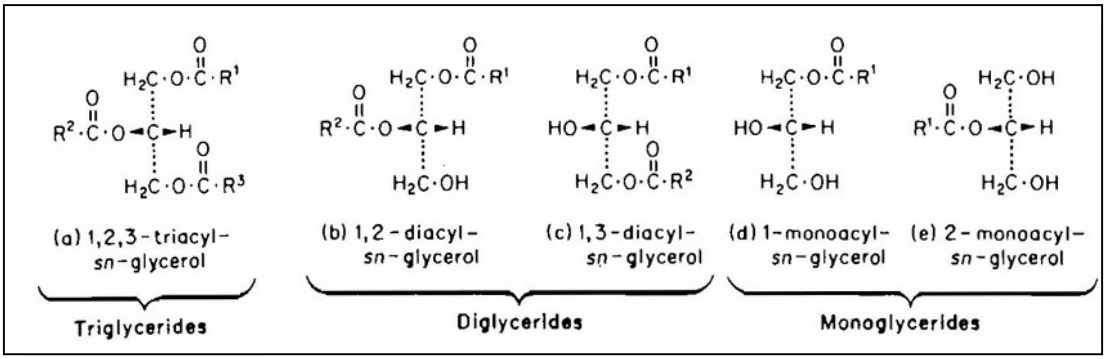
1.1.4.II. استرات الجليسرول (*Glyceryl esters*) :

تُعرف هذه المجموعة بارتباط كحول الجليسرول مع الأحماض الدهنية بروابط استر. وتصنف حسب عدد الأحماض الدهنية المرتبطة بالجليسرول إلى:

الجليسيدات الثلاثية (Triglycerides) :ارتباط ثلاث أحماض دهنية مع الجليسرول.

الجليسيدات الثنائية (Diglycerides) : ارتباط حمضين دهنيين مع الجليسرول.

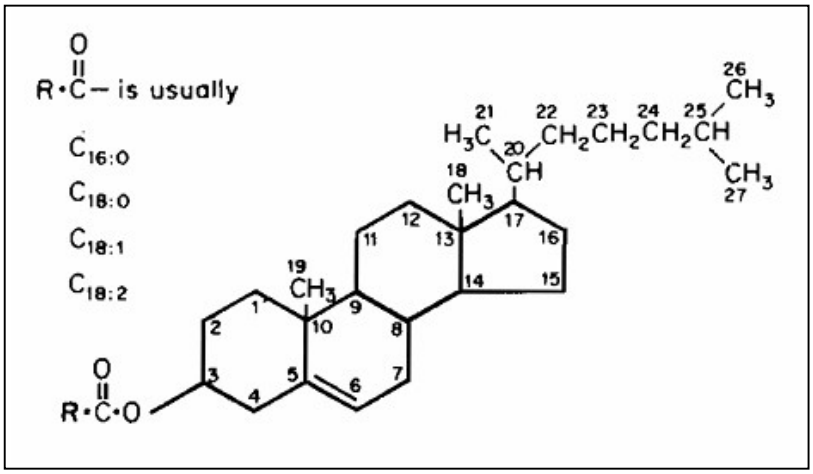
الجليسيدات الأحادية (Monoglycerides) : ارتباط حمض دهني واحد مع الجليسرول.(رضوان صدقي فرج،1995)



الشكل(1.II): الصيغ التركيبية لثلاثي و ثنائي وأحادي الجلسيريد

II.2.1.4. أسترات الكوليسترول (*Cholesteryl esters*) :

تنتج هذه المركبات من تفاعل الكوليسترول مع الأحماض الدهنية. وهي تلعب دوراً مهماً في نقل الدهون داخل الجسم.(رضوان صدقي فرج،1995)



الشكل(II.2): التركيب الكيميائي لأسترات الكوليسترول(*Cholesteryl esters*)

II.3.1.4. الشموع (*Waxes*) :

هي مركبات استر تتكون من اتحاد أحماض دهنية مع كحولات ذات سلسلة طويلة بدلاً من الجليسرول. (رضوان صدقي فرج،1995)

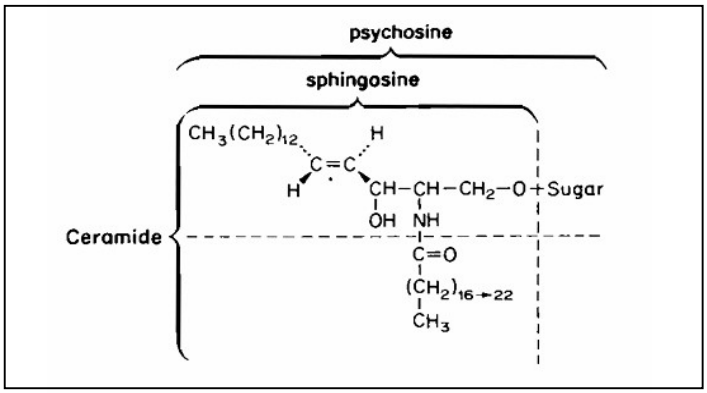
II.4.1.4. السيراميدات (*Ceramides*) :

تتميز هذه المجموعة بتركيبها المختلف قليلاً، حيث تتكون من:

قاعدة السفينجوزين (Sphingosine) أو أحد مشتقاته.

ارتباطها مع حمض دهني بواسطة رابطة أميدية.(Amide bond)

تعتبر المركبات المشتقة من السفينجوزين هي الأكثر انتشاراً وشيوعاً في هذا النوع.(رضوان صدقي فرج،1995)



الشكل(3.II): التركيب الجزيئي للسيراميد و السفينجوزين

2.4.II. الليبيدات المركبة Compound Lipids :

تُعرف الليبيدات المركبة بأنها استرات لأحماض دهنية تحتوي على مجموعات إضافية بجانب الكحول والحمض الدهني. وتصنف بشكل رئيسي بناءً على طبيعة الهيكل الكحولي والمجموعات الوظيفية المرتبطة بها:

1.2.4.II. الفوسفوليبيدات (*Phospholipids*) :

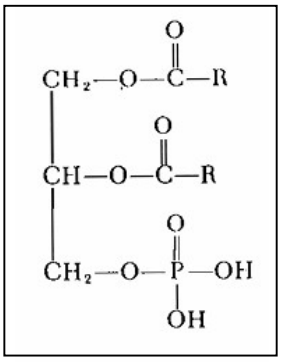
تعد الفوسفوليبيدات المكون الأساسي للأغشية الخلوية، وتتميز بوجود حمض الفوسفوريك في تركيبها.

1.1.2.4.II. الجليسيروفوسفوليبيدات (*Glycerophospholipids*) :

تعتمد في تركيبها على هيكل الجليسيرول، وتشمل الأنواع التالية:

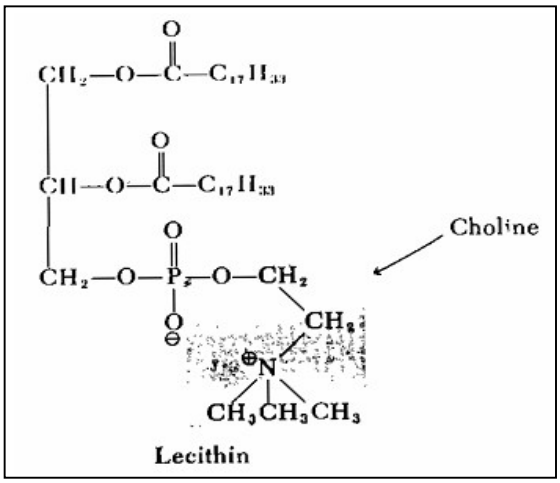
- **حمض الفوسفاتيديك (*Phosphatidic Acid*) :** يمثل الوحدة البنائية الأساسية لجميع

الجليسيروفوسفوليبيدات، ويتكون من جليسيرول مرتبط بحمضين دهنيين ومجموعة فوسفات.



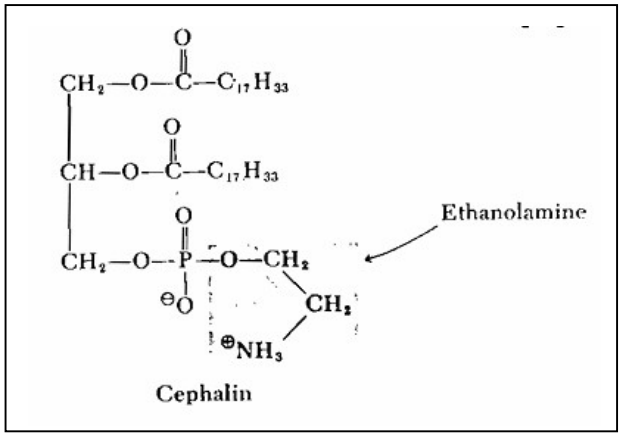
الشكل(4.II): التركيب الكيميائي لحمض الفوسفاتيديك***Phosphatidic Acid***

- **فوسفاتيديل كولين (*Phosphatidylcholine*) :** يُعرف تجارياً باسم "الليسيثين"، حيث ترتبط قاعدة الكولين بمجموعة الفوسفات.



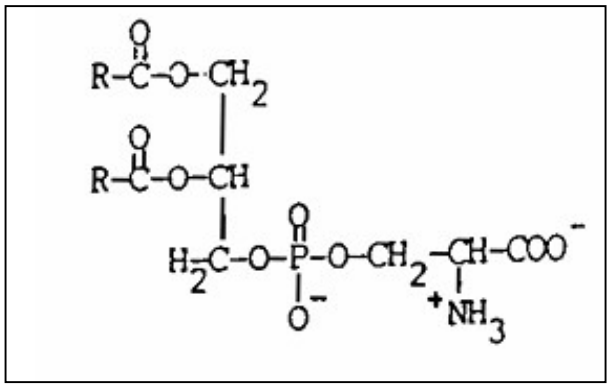
الشكل(5.II): التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل كولين (*Phosphatidylcholine*)

- **فوسفاتيديل إيثانول أمين (*Phosphatidylethanolamine*) :** يُطلق عليه "السيفالين"، ويحتوي على قاعدة الإيثانول أمين بدلاً من الكولين.



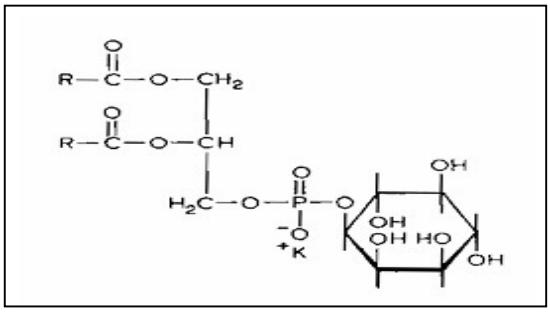
الشكل(6.II): التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل إيثانولامين (*phosphatidylethanolamine*)

- **فوسفاتيديل سيرين (*Phosphatidylserine*) :** يرتبط فيه الحمض الأميني "سيرين" بمجموعة الفوسفات.



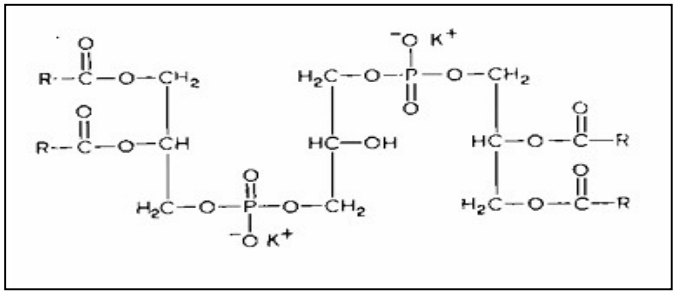
الشكل(7.II): التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل سيرين (*Phosphatidylserine*)

- **فوسفاتيديل إينوزيتول (*Phosphatidylinositol*) :** يحتوي على سكر سداسي (الإينوزيتول)، ويلعب دوراً هاماً في نقل الإشارات الخلوية.



الشكل(8.II): التركيب الكيميائي لجزيء الفوسفاتيديل إينوزيتول (*Phosphatidylinositol*)

- **ثنائي فوسفاتيديل جليسيرول (*Diphosphatidylglycerol*):** يُعرف بـ "الكارديوليبين"، ويوجد بكثرة في غشاء الميتوكوندريا.

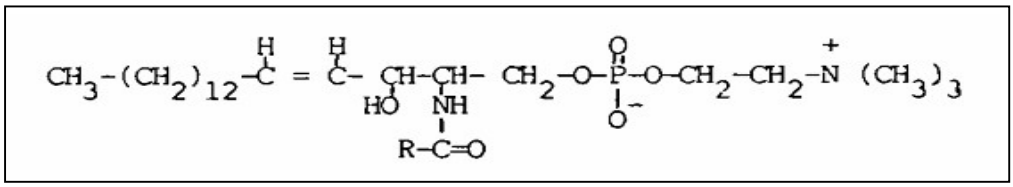


الشكل(9.II): التركيب الكيميائي لجزيء الكارديوليبين (*Cardiolipin*)

2.1.2.4.II. السفينجوفوسفوليبيدات (*Sphingophospholipids*) :

تستبدل هذه المجموعة الجليسيرول بكحول أميني طويل السلسلة يسمى السفينجوزين.

- **السفينجوميلين (*Sphingomyelin*) :** يتكون من سفينجوزين مرتبط بحمض دهني (ليكون السيراميد) ومجموعة فوسفوريل كولين. يتواجد بكثافة في الغلاف الميالي للأعصاب.

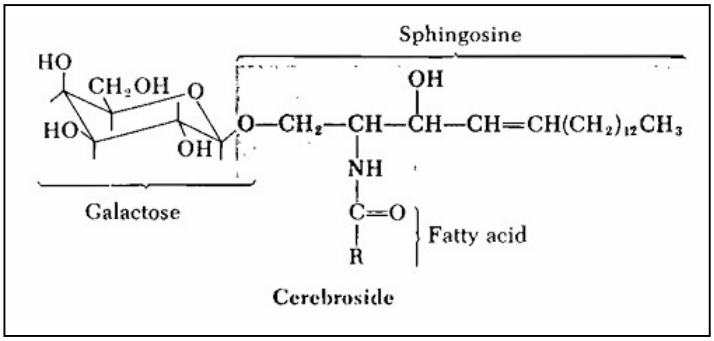


الشكل(10.II): التركيب الكيميائي لجزيء السفينجوميلين (*Sphingomyelin*)

II.2.2.4. الليبيدات السكرية (*Glycolipids*) :

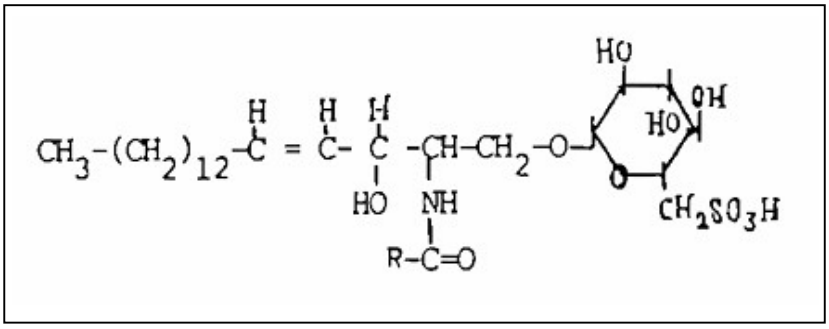
تتميز هذه الليبيدات باحتوائها على كربوهيدرات (سكريات) بدلاً من مجموعة الفوسفات، وترتكز غالباً على قاعدة السيراميد.(رضوان صدقي فرج،1995)

- **السيربروسيدات (*Cerebrosides*) :** تتكون من سيراميد مرتبط بجزيء واحد من السكر (غالباً جالاكتوز أو جلوكوز).



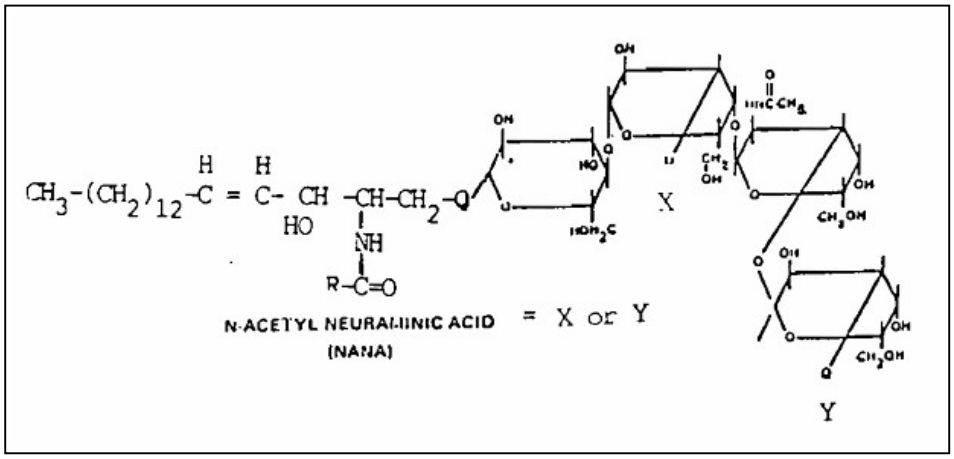
الشكل(II.11): التركيب الكيميائي السيريبوزيد (*Cerebroside*)

- **كبريتات السيربروسيد (Cerebroside sulphate) :** هي سيربروزيدات تحتوي على مجموعة كبريتات مرتبطة بجزيء السكر.



الشكل(II.12): التركيب الكيميائي لجزيء السلفاتيد (*Sulfatide*)

- **الجانجليوسيدات (*Gangliosides*) :** ليبيدات سكرية معقدة تحتوي على سلاسل متشعبة من السكريات المتعددة، بالإضافة إلى حمض السياليك.(N-acetylneuraminic acid)



الشكل(II.13): التركيب الكيميائي لجزيء الجانجليوسيد (*Ganglioside*)

II.3.2.4. الليبيدات البروتينية (*Lipoproteins*) :

عبارة عن معقدات كيميائية حيوية تتكون من دهون وبروتينات متخصصة، وظيفتها الأساسية نقل الليبيدات غير القابلة للذوبان في الوسط المائي للدم. وتشمل:

- البروتينات الدهنية عالية الكثافة.(HDL)
- البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة.(LDL) (رضوان صدقي فرج،1995)

II.3.4. الدهون المشتقة Derived Lipids:

هي المركبات الحيوية الناتجة عن عمليات التحلل المائي لليبيدات البسيطة و المعقدة، وتتميز بتنوعها التركيبي و الوظيفي إذ تضم الأحماض الدهنية الحرة ، و الكحولات ذات السلاسل الطويلة أو الحلقية مثل الستيرولات، بالإضافة إلى الهيدروكربونات كالكاروتينويدات، و الفيتامينات الذائبة في الدهون و (A، D، E، K)المتمثلة في .(بن علي مصطفى،2018)

II.5. الأحماض الدهنية:

II.5.1. تعريف:

الأحماض الدهنية هي مركبات عضوية ذات طبيعة حمضية، تتميز بوجود مجموعة كربوكسيل (-COOH)في نهاية سلسلة هيدروكربونية غير متفرعة. تعد مكونا أساسيا للدهون، إذ ترتبط مع الجليسرول لتشكيل الغليسيريدات، كما تساهم في تحديد الخواص الفيزيائية و الكيميائية للدهون. ويمكن أن تتحرر نتيجة تحلل الدهون مائيا تحت تأثير الأحماض أو الإنزيمات. (هيئة الطاقة الذرية السورية، 2011)

II.5.2. تصنيف الأحماض الدهنية:

تتميز معظم الأحماض الدهنية بكونها أحادية الكربوكسيل وغير متفرعة، وتختلف في طول السلسلة ودرجة التشبع. ويوجد عدد محدود منها يحتوي على مجاميع حلقية، أو هيدروكسيل، أو سلاسل متفرعة. وبناءً على تركيبها الكيميائي، تصنف الأحماض الدهنية إلى مشبعة، غير مشبعة، تحتوي على هيدروكسيل، وأحماض حلقية.(بن علي مصطفى،2018)

II.5.2.1. أحماض دهنية مشبعة:

تُعطى الصيغة العامة لهذه المركبات $C_nH_{2n}O_2$ ، حيث يمثل n عدد ذرات الكربون في السلسلة . وتتميز بخلو بنيتها من الروابط الثنائية، الأمر الذي يمنحها درجة عالية من الإستقرار الكيميائي. ومن أبرز هذه المركبات: (هامل&زيارة ،2024)

الجدول(3.II): أهم الأحماض الدهنية المشبعة

الحمض الدهني المشبع		الصيغة
كابريك	Caprique	$CH_3-(CH_2)_8-COOH$
لوريك	Laurique	$CH_3-(CH_2)_{10}-COOH$
ميرستيك	Myristique	$CH_3-(CH_2)_{12}-COOH$
بالميتيك	Palmitique	$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$
ستياريك	Stearique	$CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$
أراشيديك	Arachidique	$CH_3-(CH_2)_{18}-COOH$
بيهينيك	Behenique	$CH_3-(CH_2)_{20}-COOH$

2.2.5.II. أحماض دهنية غير مشبعة:

نظرا لتعدد الأحماض التي تندرج ضمن هذا القسم ، فإنه من الملائم تصنيفها إلى فئات محددة :

- **أحماض أحادية عدم التشبع:**

تتميز هذه الأحماض باحتوائها على رابطة ثنائية واحدة، وتعبر عنها بالصيغة العامة $C_nH_{2n}O_2$ ومن أبرزها:

الجدول(4.II): أحماض أحادية عدم التشبع

الحمض الدهني الأحادي الرابطة المضاعفة		*الصيغة*
لوريك	Loroleique	$C_{11}H_{21}COOH$
ميرستولييك	Myristoleique	$C_{13}H_{25}COOH$
بالميتولييك	Palmitoleique	$C_{15}H_{29}COOH$
أوليك	Oleique	$C_{17}H_{33}COOH$

- **أحماض ثنائية عدم التشبع:**

هي أحماض تتميز بوجود رابطتين ثنائيتين ضمن بنيتها الجزيئية.وتتمثل في :

الجدول(5.II): حمض ثنائي عدم تشبع

الحمض الدهني ثنائي الرابطة المضاعفة	الصيغة
لينولييك Linoleique	$C_{17}H_{31}COOH$

- **أحماض عديدة عدم التشبع:**

هي أحماض تتميز باحتوائها على أكثر من رابطتين ثنائيتين في بنيتها الجزيئية ومن أهمها:

الجدول(6.II): أحماض عديدة عدم التشبع

الحمض الدهني عديد عدم التشبع	الصيغة
لينولينيك Linolenique	$C_{17}H_{29}COOH$
أراشيدونيك Arachidonique	$C_{19}H_{31}COOH$

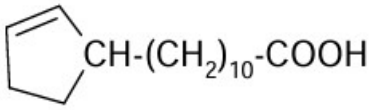
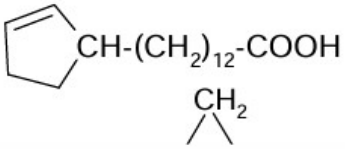
3.2.5.II. أحماض دهنية هيدروكسيلية:

يعد حمض الريسينوليك (Ricinoleic acid) من أهم مكونات زيت الخروع، وهو حمض هيدروكسيلي يتميز بسهولة التصبن مكونا الزيت الأحمر التركي. كما يتفاعل مع البروم و اليود، ويذوب في الكحول و الإيثر، بينما لا يذوب في الزيوت البترولية. (طارق اسماعيل كاخيا،2006)

4.2.5.II. أحماض دهنية حلقية:

تُصنف الأحماض الدهنية الحلقية كفئة من الأحماض الدهنية غير المشبعة التي يتميز هيكلها الكربوني بوجود حلقة كربونية واحدة أو أكثر تظهر هذه الأحماض بشكل طبيعي في بعض الزيوت النباتية.(بن علي مصطفى،2018)

الجدول(II.7): أحماض دهنية حلقية

الحمض الدهني الحلقي	الصيغة
حمض هيدنوكاربيك Hydnocarpique	
حمض كاولمووجريك Caolmogrique	
حمض مالفاليك Malvalique	$CH_2CH_3-(CH_2)_7-C = C-(CH_2)_6-COOH$

II.6. طرق تحضير الأسترات الميثيلية:

تعد عملية تحويل الأحماض الدهنية إلى إسترات ميثيلية خطوة تمهيدية ضرورية لتحليل التركيب الحمضي للزيوت و الدهون باستخدام تقنية الكروماتوغرافيا الغازية (GC). وتستند البروتوكولات المتبعة في هذا الشأن إلى معايير الجمعية الفرنسية للتقييس (AFNOR 1984).

وتحديدا معيار (NORMES AFNOR NF 60-233) وتتلخص المنهجيات المعتمدة فيما يلي:

II.1.6. الطريقة العامة (برتوكول BF_3):

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ التصبن الأولي للأحماض الدهنية، تليها عملية أسترة مباشرة (Esterification)في وسط محفز بواسطة ثلاثي فلوريد البور (BF_3). تتميز هذه التقنية بكفاءتها العالية وسرعتها الفائقة، حيث لا يتجاوز زمن التفاعل 20 دقيقة تقريبا. يتم بعد ذلك استخلاص الإسترات الميثيلية المتكونة باستخدام المذيب العضوي "الهبتان". التي تحتوي على أحماض دهنية من نوع البوتيريك (Butyric acid) نظرا لخصائصها الكمية.

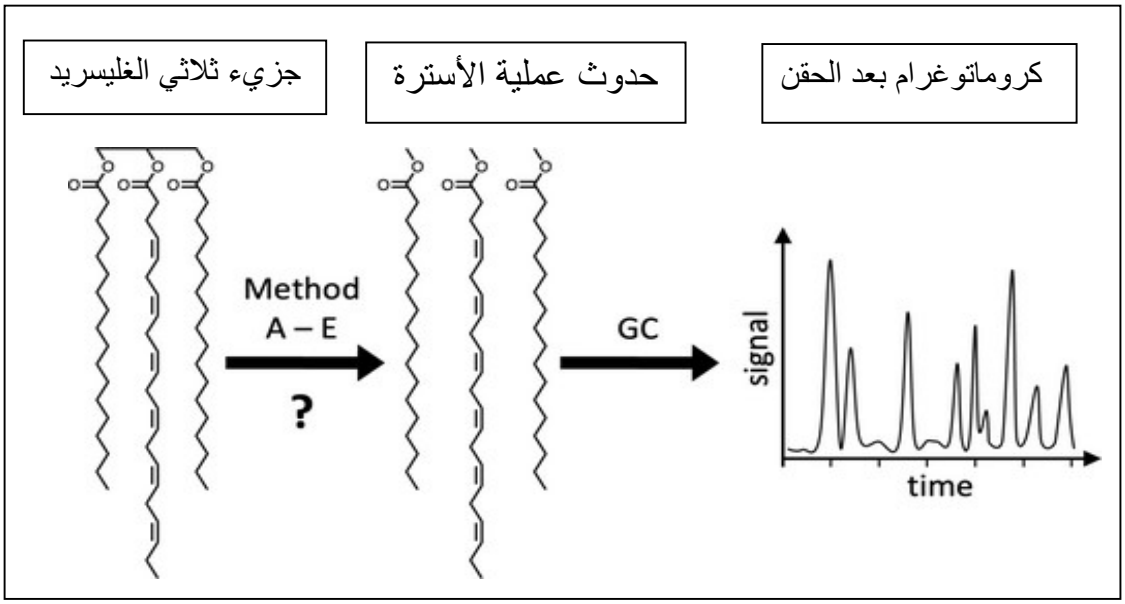
II.2.6. الطريقة المطبقة على المواد الدهنية المتعادلة:

يتم في هذه الطريقة تحويل الجلسريدات الثلاثية (Triglycerides) إلى إسترات ميثيلية من خلال تفاعل التبادل الأستري (Transesterification) باستخدام الميثانول تحت تأثير الحرارة وبوجود هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) كعامل حفاز أساسي. بعد إتمام التفاعل يتم تثبيط العملية بإضافة الماء، ومن ثم فصل و استخلاص الإسترات الميثيلية الناتجة بواسطة الهبتان.

II.3.6. الطريقة المطبقة على المواد الدهنية الحمضية:

تطبق هذه المنهجية على العينات التي تتميز بنسبة حموضة عالية، وتتم وفق مسارين:

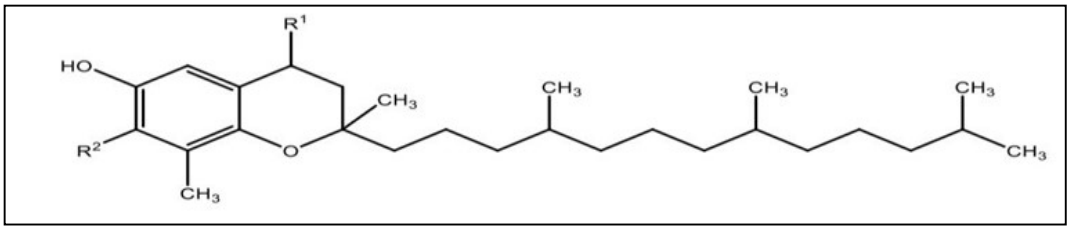
- ✓ تفاعل بوسط قلوي ساخن باستخدام ميثيلات الصوديوم (Sodium methoxide)، حيث يتم تصبن الأحماض الدهنية الحرة أولا.
- ✓ معاملة الميثانول للجلسريدات الثلاثية في وسط حمضي (ميثانول- كلوريد الهيدروجين HCl) ، مما يؤدي إلى تحويل المواد المتصبنة إلى إسترات ميثيلية. وتختتم العملية بإضافة الماء لترسيب النواتج ، ثم استخلاصها باستعمال الهبتان. (بن علي مصطفى،2018)



الشكل(II.14): مراحل تحليل الأحماض الدهنية في الزيوت بإستخدام تقنية (GC)

II.7. التوكوفيرول *Tocopherol*:

يعتبر التوكوفيرول (فيتامين E) مركبا أساسيا يمتاز بخصائصه المضادة للأكسدة، مما يساهم في تعزيز الإستقرار التأكسدي للزيت. تعد تركيزات التوكوفيرول في الزيت من العوامل الحيوية التي تحدد جودته، حيث تلعب دورا محوريا في حماية الزيت من عمليات التدهور و التخريب. (Guo&Katta ,2017)



الشكل(II.15): التركيب الكيميائي لجزيء التوكوفيرول

II.7.1. انواع التوكوفيرول *Tocopherol* :

تقسم التوكوفيرولات إلى أربعة أشكال(α، β، γ، δ) ، وذلك بناء على التركيب الكيميائي لمجموعتي المستبدلات R_2 ، R_1 .تمتاز هذه المركبات بخصائصها المضادة للأكسدة، حيث تلعب دورا مهما في حماية الزيوت من التدهور من خلال تثبيط تفاعلات الأكسدة الناتجة عن تفاعلها مع الأكسجين الموجود في الهواء.(دراجي وكرامة،2022)

الجدول(II.8): أنواع التوكوفيرول Tocopherol

نوع التوكوفيرول	R_1	R_2
توكوفيرول α	CH_3	CH_3
توكوفيرول β	H	CH_3
توكوفيرول γ	CH_3	H
توكوفيرول δ	H	H

II.2.7. وظائف التوكوفيرول *Tocopherol* :

- يلعب التوكوفيرول دورا حيويا في حماية السلامة الهيكلية للأغشية الخلوية من خلال تثبيط التفاعلات المتسلسلة لبيروكسيد الدهون. (Poaty et al ,2021)
- يساهم تناوله خلال أو عقب حدوث الأزمة القلبية في دعم استقرار النبضات الكهربائية لعضلة القلب و المحافظة على انتظامها.
- يساهم في تخليق بعض الجزيئات الحيوية الأساسية في الجسم، من بينها الحمض النووي(DNA).
- يساهم في حماية الرئتين من التأثيرات الضارة للملوثات المحمولة جوا و الحد من آثارها السمية.
- يعد مضاد أكسدة غذائيا طبيعيا قويا، إذ يثبط أكسدة الأحماض الدهنية غير المشبعة و الفوسفوليبيدات و الفيتامين A ،مما يساهم في تعزيزثبات الدهون وحمايتها من التأكسد.
- يساهم في تثبيط ترسب الكوليسترول على جدران الشرايين ، مما يحد من تشكل اللويحات العصدية.(بن علي مصطفى ،2018)

II.8. الخصائص الفيزيوكيميائية للزيت :

II.1.8. الخواص الفيزيائية:

II.1.1.8. اللون Color :

يعد لون الزيت مؤشرا نوعيا حيويا لتقييم الجودة، حيث تعود الصبغات الطبيعية الفريدة لكل نوع من الزيوت إلى تركيبها الكيميائي الخاص. وتتأثر الخصائص اللونية بعدة عوامل تقنية وبيولوجية، إذ تشير الألوان الداكنة غالبا إلى إنخفاض جودة المادة الخام، أو عدم كفاية عمليات التبيض أو وجود شوائب متبقية مثل الصموغ و الفوسفوليبيدات، إضافة إلى إحتمالية تأثر البذور الزيتية بالإصابات الفطرية أثناء التخزين. (رضوان صدقي فرج،1995)

2.1.8.II. الكثافة النوعية d_4^{20} (Relative density):

تعرف الكثافة النسبية أو الوزن النوعي بأنها النسبة بين وزن حجم معين من الزيت عند درجة حرارة محددة إلى وزن نفس الحجم من الماء عند درجة الحرارة نفسها، وهي قيمة تكون دائما أقل من الواحد للمواد الدهنية أي يفسر هذا بطفو الزيت فوق سطح الماء . وتعتبر هذه الكثافة خاصية أساسية تعتمد على تركيب الزيت من الهيدروكربونات كالأحماض الدهنية و الجليسيريدات، حيث تكمن أهميتها في القدرة على تقدير درجة نقاوة الزيت وحساب وزنه في الأوعية معلومة الحجم.ويتم تعيينها عمليا من خلال حساب كتلة حجم معين من الزيت وقسمتها على كتلة نفس الحجم من الماء تحت نفس ظروف درجة. (بن علي مصطفى،2018)

وعند استخدام درجة حرارة θ أكبرمن الحرارة القياسية نتبع العلاقة التالية:

$$\boldsymbol{d_4^{20}} = d_4^{\theta} + (\theta - 20) \times 0{,}00068$$

d_4^{20}: الكثافة عند درجة الحرارة 20°C

d_4^{θ}:الكثافة عند درجة حرارة المخبر

θ:درجة حرارة المخبر

0,00068: معامل تغير الكثافة عند تغير درجة حرارة 1°C

3.1.8.II. قرينة الإنكسار η_D^{20} (Refractive index):

يُعد معامل الإنكسار من الخصائص الفيزيائية المهمة للزيوت و الدهون، إذ يرتبط بدرجة عدم التشبع و التركيب الكيميائي للأحماض الدهنية المكونة لها، لذلك يستعمل في التمييز بين نواع الزيوت و تقييم جودتها. كما تتأثر قيمة معامل الإنكسار بدرجة الحرارة، حيث تنخفض بارتفاعها. ويقاس عادة باستعمال جهازRefractometer عند درجة حرارة محددة.(رضوان صدقي فرج،1995)

$$\boldsymbol{\eta_D^{20}} = \eta_D^{\theta} + (\theta - 20) \times 0{,}0035$$

η_D^{20}: قرينة الإنكسار عند درجة الحرارة 20°C

η_D^θ: قرينة الإنكسار عند درجة حرارة المخبر

θ: درجة حرارة المخبر

0,0035: معامل تغيرقرينة الإنكسار عند تغيير درجة الحرارة بمقدار 1°C

II.2.8. الخواص الكيميائية:

II.2.8.1. رقم الحامض IA (Acid value) :

يعد رقم الحامض معيارا كيميائيا لتحديد محتوى الأحماض الدهنية الحرة في المواد الدسمة ويعرف بأنه عدد المليغرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) اللازمة لمعادلة هذه الأحماض في غرام واحد من المادة. كما يمكن التعبير عنه بأنه حجم المحلول القلوي النظامي المستهلك لمعادلة حموضة 100 غرام من الزيت.وتعتبر هذه القيمة مؤشرا على جودة الزيت، حيث تزداد درجة الحموضة بشكل طردي مع تقدم عمر تخزين الزيت ، بينما تتناسب عكسيا مع درجة نضج الثمرة .يتم تقدير هذا الرقم مخبريا عبر عملية المعايرة لعينة الزيت المذابة في مذيب عضوي بواسطة مادة عيارية قلوية وبوجد كاشف فينول فيثالين. (هيئة الطاقة الذرية السورية، 2011)

وتحسب النتيجة وفق العلاقة التالي:

$$\mathbf{IA}=\frac{V\times N\times 56.1}{m}$$

IA: رقم الحامض

V: حجم محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) اللازم للمعايرة

N: عيارية محلول (KOH)

m: كتلة الزيت بالغرام

56.1: الوزن الجزيئي (KOH)

2.2.8.II. رقم التصبن IS (Saponification Number):

يعرف رقم التصبن بأنه عدد المليغرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) اللازمة لتصبن غرام واحد من المادة الدسمة. ويرتبط هذا الرقم عكسيا بالكتلة الجزيئية للأحماض الدهنية، حيث يعد مؤشرا على متوسط الوزن الجزيئي للمكونات الدهنية في العينة. تعتمد الطريقة الروتينية لتحديد رقم التصبن على تصبن العينة الدسمة باستعمال محلول كحولي ممن KOH تحت التسخين مع الارتجاع ، ثم تتم معايرة فائض KOH غير المتفاعل بواسطة حمض كلور الماء (HCl)، بإستخدام كاشف الفينول فيثالين لتحديد نقطة النهاية. (هيئة الطاقة الذرية السورية، 2011)

ويحسب بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{IS} = \frac{(V_0 - \mathrm{V}) \times \mathrm{N} \times 56.1}{m}$$

IS: حجم محلول HCl المستعمل في تجربة المقارنة

V: حجم محلول HCl اللازم لتعديل المحلول الصابوني

N: عيارية محلول HCl

m: كتلة عينة الزيت

3.2.8.II. رقم اليود II (Iodine Number):

يعبر رقم اليود عن درجة عدم التشبع في الأحماض الدهنية المكونة للزيوت، ويعرف بأنه عدد غرامات اليود التي تتفاعل مع 100 غرام من الزيت، مما يعكس محتوى الروابط المزدوجة في الأحماض الدهنية. تعتمد الطريقة الروتينية لتحديد رقم اليود على إذابة العينة في الكلوروفورم، ثم إضافة كاشف مناسب يتبعه محلول يوديد البوتاسيوم (KI) لتحرير اليود. بعد ذلك يعاير اليود المتحرر بواسطة محلول معياري من ثيوسلفات الصوديوم، باستخدام محلول النشاء كمؤشر لتحديد نقطة النهاية. (هيئة الطاقة الذرية السورية، 2011)

ويحسب وفق العلاقة التالية:

$$\mathbf{II} = \frac{(\mathrm{v}_0 - \mathrm{v}_1) \times \mathrm{N} \times 12.69}{\mathrm{m}}$$

II: رقم اليود

N: عيارية محلول Wijis نفسها عيارية ثيوسلفات الصوديوم

v_0: حجم محلول Wijis

v_1: حجم محلول ثيوسلفات الصوديوم

m: كتلة عينة الزيت

4.2.8.II. محتوى الرطوبة (Moisture%) :

يعد تحديد نسبة الرطوبة في المواد من المعايير الأساسية لتقييم قابليتها للتخزين وصلاحيتها، دون حدوث تغيرات في خصائصها الفيزيائية أو كيميائية. ويتم تقديرالرطوبة عبر تجفيف العينة في فرن كهربائي عند درجة حرارة معينة إلى غاية ثبات الوزن، ثم نحسب كنسبة مئوية من الفرق في الكتلة بين الحلة قبل وبعد التجفيف. (هيئة الطاقة الذرية السورية، 2011)

تحسب بالعلاقة التالية:

$$\textbf{Moisture}\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W_1: وزن العينة المدروسة قبل تجفيف

W_2: وزن العينة المدروسة بعد تجفيف

الفصل الثالث

المركبات الفينولية

الفعالية البيولوجية

III. مدخل:

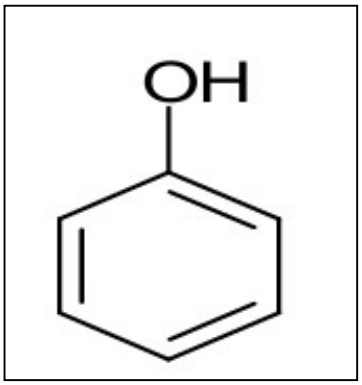
تعد المركبات الفينولية Phenolic compounds من أهم الفئات الكيميائية المنتشرة في المملكة النباتية، حيث تلعب دورا محوريا في الدفاع عن النبات ضد العوامل البيئية المختلفة مثل الإجهاد التأكسدي، الأشعة فوق البنفسجية، و الهجمات الميكروبية. كما تعرف هذه المركبات بقدرتها العالية كمضادات أكسدة طبيعية، مما يجعلها ذات أهمية كبيرة في التطبيقات الغذائية و الدوائية و الصناعية. وتتضمن هذه الفئة تنوعا بنيويا واسعا يشمل الأحماض الفينولية ، الفلافونويدات، و اللجنينات وهو مايفسر تعدد وظائفها الحيوية وتباين نشاطها البيولوجي. لذلك أصبحت دراسة المركبات الفينولية محور اهتمام العديد من الأبحاث العلمية نظرا لإمكاناتها الوقائية و العلاجية.

1.III. المركبات الفينولية:

1.1.III. تعريف المركبات الفينولية :

تعرف المركبات الفينولية بأنها فئة من المركبات العضوية تتميز باحتوائها على حلقة بنزينية واحدة على الأقل ، ترتبط بها مجموعة هيدروكسيل (OH-) حرة أو متصلة بوظيفة كيميائية أخرى وهو ما يمنحها خصائص بنيوية و تفاعلية مميزة . إذ أن هناك نواتج أيضية ثانوية أخرى تندرج شكليا ضمن هذا التعريف، لكنها تنتمي إلى مجموعات كيميائية نباتية مختلفة، مثل بعض القلويدات كالمورفين(Morphine) وبعض التربينات مثل التيمول (Thymol)، و التي تحتوي في تركيبها البنيوي على حلقة بنزينية ومجموعة هيدروكسيل فينولية. وعليه فإن هذا التشابه البنيوي يستلزم اعتماد معيار الاصطناع الحيوي كشرط إضافي لتحديد الحدود الدقيقة لهذه المجموعة وتصنيفها على نحو علمي دقيق. وعليه ليكون تعريف المركبات الفينولية: هي مشتق غير أزوتي، حيث ينشأ تكوّن الحلقة العطرية أو الحلقات العطرية نتيجة مسارات أيضية محددة، أهمها مسار الشيكيمات(Acid Shikimic) أو مسار متعدد الأسيتات (Poly acetates)، وذلك وفق آليات الاصطناع الحيوي المعروفة في الكائنات النباتية. (بن علي مصطفى،2018)

(Havsteen, 2002 ، De Rijke et al.,2006)



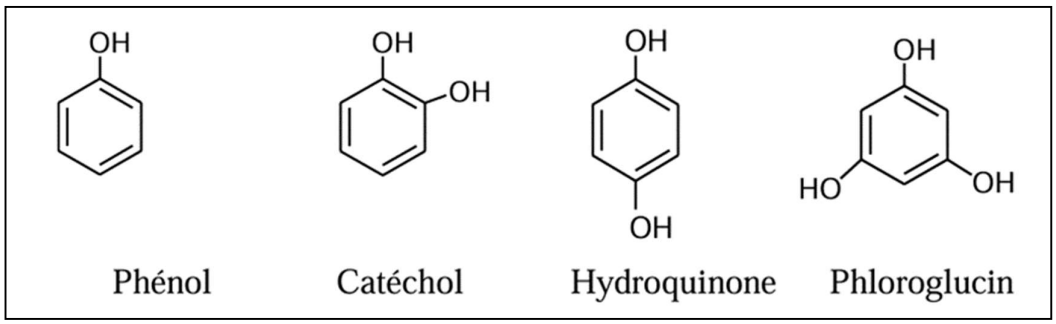
الشكل(1.III): الهيكل الأساسي للفينول

2.1.III. أقسام المركبات الفينولية:

تصنف المركبات الفينولية اعتمادا على بنيتها الكيميائية إلى مجموعتين رئيسيتين، هما : المركبات الفينولية البسيطة، والتي تحتوي على حلقة فينولية واحدة أو عدد محدود من المجموعات الوظيفية، ومتعددات الفينول التي تتميز بتركيب أكثر تعقيدا واحتوائها على عدة وحدات فينولية مترابطة.(قادري،2022)

1.2.1.III. المركبات الفينولية البسيطة:

تعرّف الفينولات بأنها مركبات عضوية تحتوي على حلقة بنزين مرتبطة بواحدة أو أكثر من مجموعات الهيدروكسيل. ويُعد وجود الفينولات البسيطة، مثل الفينول(Phenol) ،(Hydroquinone) ،(Catechol) محدودا نسبيا في الطبيعة، باستثناء Hydroquinone الذي يُسجّل وجوده في عدد من العائلات النباتية.(بن علي مصطفى،2018)



الشكل(2.III): الفينولات البسيطة

III.1.1.2.1. الأحماض الفينولية:

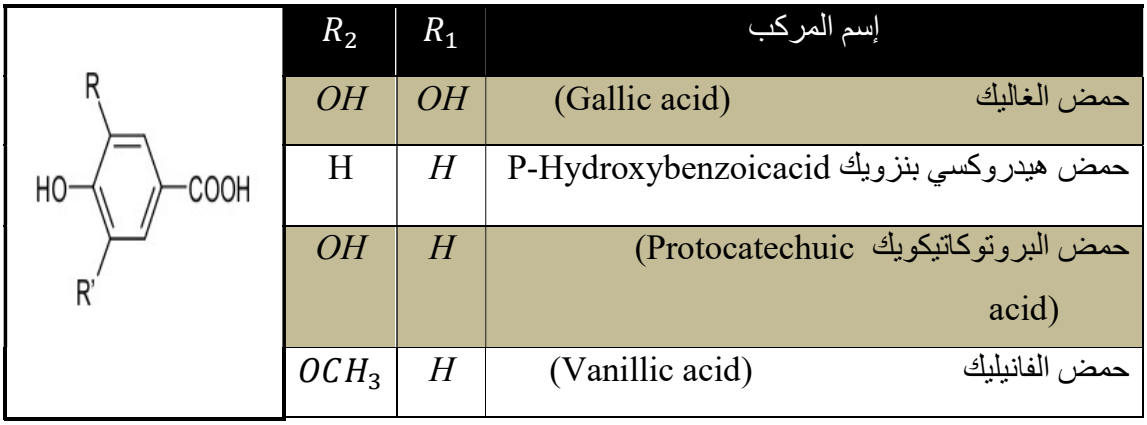
هي فئة أساسية من المركبات الأيضية الثانوية الموجودة في النباتات، وتتميز بوجود حلقة بنزين مرتبطة بمجموعة كربوكسيل واحدة على الأقل ووظيفة فينولية واحدة أو أكثر. وتعتبر من الأكثر المركبات الفينولية إنتشارا في الطبيعة، حيث تلعب دورا دفاعيا مهما للنبات وتشتهر بكونها مضادات أكسدة قوية تحمي الخلايا من الإجهاد التأكسدي .

(Dai and Mumper,2010 ; Zhang et al.,2022 ; Kisiriko et al.,2021)

❖ مشتقات حمض هيدروكسي بنزويك (Hydroxybenzoic acid):

تتميز بهيكل كربوني من نوع $(C_6 - C_1)$ ، حيث تتكون من حلقة بنزين مرتبطة بمجموعة كربوكسيل واحدة. من أهمها الموضحة في الجدول الموالي .

الجدول(1.III): أهم أشكال حمض هيدروكسي البنزويك



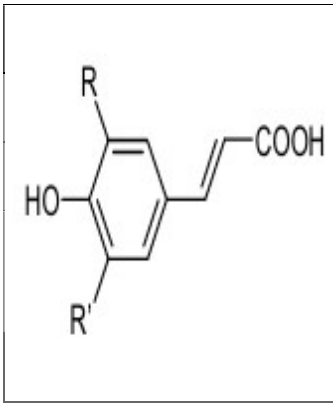
R_2	R_1	إسم المركب
OH	OH	حمض الغاليك (Gallic acid)
H	H	حمض هيدروكسي بنزويك P-Hydroxybenzoicacid
OH	H	حمض البروتوكاتيكويك (Protocatechuic acid)
OCH_3	H	حمض الفانيليك (Vanillic acid)

❖ مشتقات حمض هيدروكسي سيناميك (Hydroxycinnamic acid):

تتميز بهيكل كربوني من نوع $(C_6 - C_3)$، وهي الأكثر شيوعا وتنوعا في النباتات مقارنة بالمجموعة الأولى. ومن أبرز أمثلتها الموضحة في الجدول الموالي:

الجدول(2.III): أهم هياكل حمض هيدروكسي سيناميك

إسم المركب	R_1	R_2
حمض الكافيك (Caffeic acid)	OH	H
حمض الفيروليك (Ferulic acid)	OCH_3	H
حمض باراكوماريك (p-Coumaric acid)	H	H
حمض السينابيك (Sinapic acid)	OCH_3	OCH_3

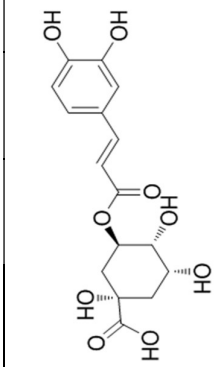


❖ بعض الأحماض الفينولية المفصول من تفل القهوة:

مشتقات حمض الكلوروجينيك وهي التي تعطي لتفل القهوة الخضائص المضادة للأكسدة و الفوائد الصحية .(Zuorro and lavecchia,2012)

الجدول(3.III): أهم أحماض تفل القهوة

إسم المركب	R_1	R_2
أحماض كافيول كوينيك Caffeoylquinic acid	OH	OH
أحماض فيرولول كوينيك Feruloylquinic acid	OCH_3	OH
أحماض ف- كومارويل كوينيك p-Coumaroyliquinic acids	H	OH



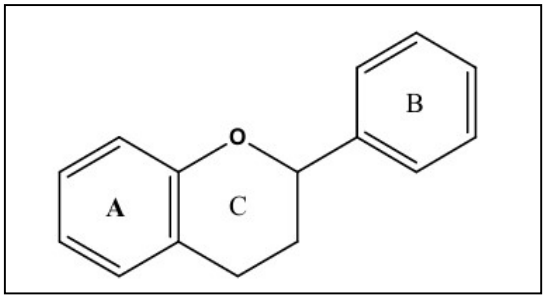
III.2.1.2.1. الفلافونويدات:

تصنف الفلافونويدات ضمن أهم وأكثر المجموعات الفينولية انتشارا وتنوعا في النباتات، إذ تتميز بتعدد تراكيبها الكيميائية وخصائصها الحيوية. وترتكز بنيتها الأساسية على هيكل كربوني مكون من خمس عشرة ذرة كربون وفق النظام $(C_6 - C_3 - C_6)$ ، حيث ترتبط حلقتان عطريتان تعرفان بالحلقتين AوB عبر سلسلة من ثلاث ذرات كربون تكون حلقة غير متجانسة تعرف بالحلقة C.(Sisa et al., 2010)

❖ خصائصها:

- المساهمة في تكوين ألوان الأزهار،مما يساعد على جذب الملقحات.
- المشاركة في مقاومة مسببات الأمراض و العوامل البيئية.
- المساهمة في تكوين العقد الجذرية في النباتات البقولية وتنظيم التفاعلات الحيوية.
- تعد من المركبات المهمة الموجودة في النظام الغذائي اليومي.
- نشاطها مرتفعا كمضادات للأكسدة من خلال معادلة الجذور الحرة وتقليل الاجهاد التأكسدي.
- مساهمة في وقاية من العديد من ال؟أمراض المزمنة المرتبطة بالإجهاد التأكسدي كسرطان.
- تظهر تأثيرات حيوية وصحية متعددة تعزز من القيمة الغذائية للنباتات الغنية بها.

(Dai and Mumper,2010 & Zhang et al.,2022 & Kisiriko et al.,2021)



الشكل(3.III): الهيكل العام للفلافونويدات

III.2.2.1. المركبات الفينولية المعقدة:

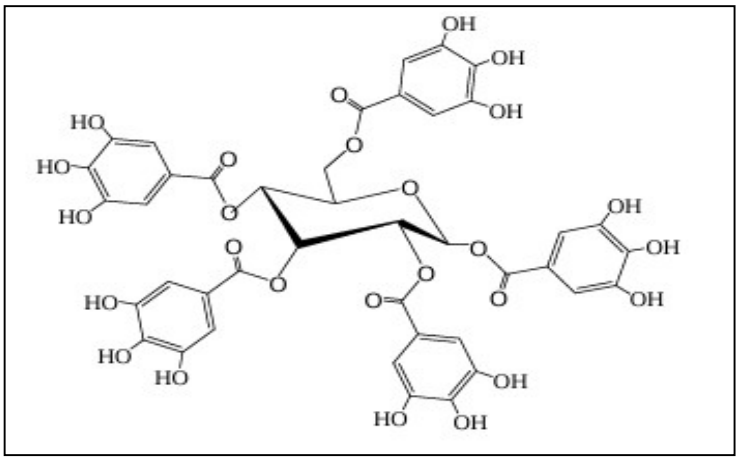
III.1.2.2.1. التانينات:

تعد التانينات مركبات فينولية عالية الوزن الجزيئي، إذ يتراوح وزنها الجزيئي بي 500-3000 وحدة. تتميز بقدرتها على الارتباط فيما بينها بروابط$C_4 - C_8$ أو $C_4 - C_6$ ، وهو ما يكسبها خواصها المميزة، لاسيما استخدامها في عملية دباغة الجلود. كما تمتاز التانينات بقابليتها للذوبان في المذيبات القطبية، وتصنف بنيويا إلى مجموعتين رئيسيتين هما التانينات المتحللة و التانينات المكثفة.(بلفار آسيا،2018)

❖ **التانينات المتحللة (*Les Tanins hydrosolubles*):**

تعد هذه المركبات من الفينولات التي تتميز بامتلاكها أوزانا جزيئية تتراوح بين المتوسطة و المرتفعة.حيث أنها تتميز بوجود روابط أسترية في بنيتها، ويؤدي تحللها المائي إلى تحرير جزء سكري و جزء فينولي

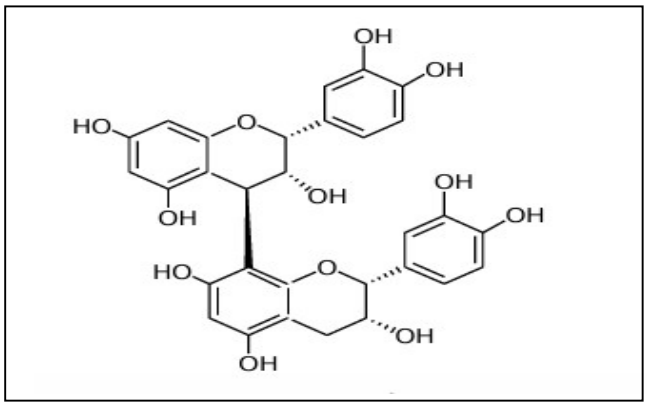
يتمثل أساسا في حمض الغاليك. تمتاز هذه المركبات بقابليتها لذوبان في الماء، كما تظهر تفاعلا نوعيا مع كلوريد الحديد الثلاثي، حيث تعطي لونا أزرق يستعمل كاختبار دال على وجودها.(بلفار آسيا،2018& قادري،2022)



الشكل(4.III): التانينات المتحللة 1,2,3,4,6-penta-o-galloyl-β -D-glucose

❖ **التانينات المتراكمة (*Proanthoncyanidols*):**

هي مركبات ناتجة عن بلمرة جزيئات أولية تمتلم البنية العامة للفلافونويدات، إذ تتكون أساسا من وحدات (Catechins(Flavan-3-ols ،وترتبط فيما بينها بروابط C-C مما يمنحها بنية مكثفة مميزة من الناحية الكيميائية و الوظيفية.(بن علي مصطفى،2018)



الشكل(5.III) : أحد التانينات المتراكمة

3.1.III. أهمية المركبات الفينولية:

- **نشاط مضاد للأكسدة:** تعتبرالفينولات مضادات أكسدة قوية على محاربة الجذور الحرة وتقليل الإجهاد التأكسدي المرتبط بالأمراض المزمنة. (Zhang et al.,2022) (Dai& Mumper,2010) (Kisiriko et al.,2021) (Zuorro& Lavecchia,2012)
- **نشاط مضاد للسرطان:** تعمل على وقاية من السرطان و التدخل في مراحل تطوره المختلفة. (Kisiriko et al.,2021)(Dai& Mumper,2010) (Zhang et al.,2002)
- **نشاط مضاد للالتهابات:** أثبتت الدراسات قدرتها على تقليل الالتهابات من خلال استهداف السيتوكينات المرتبطة بها.(Zhang et al.,2022) (Kisiriko et al.,2021)

- **وقاية القلب و الأوعية الدموية:** تساهم في الحفاظ على صحة القلب و تقليل مخاطر الإصابة بأمراض الأوعية الدموية.(Kisiriko et (Dai& Mumper,2010) (Zhang et al.,2022) al.,2021)
- **نشاط مضاد للمكروبات:** تظهر فعالية عالية في تثبيط نمو الكائنات الحية الدقيقة الممرضة. (Kisiriko et al.,2021) (Zhang et al.,2022)
- **نشاط مضاد للسمنة:** تساهم في الوقاية من السمنة وتنظيم التمثيل الغذائي للدهون. (Zhang et al.,2022)
- **محفزات حيوية:** توفر حماية طبيعية للنبات ضد الآفات الحشرية، النيماتودا، ومسببات الأمراض.(Kisiriko et al.,2021)
- **نشاط مضاد للسكري:** تساعد في إدارة مرض السكري وتقليل مضاعفاته. (Zhang et al.,2022)
- **مكافحة فيروس كورونا(COVID-19):** أشارت أبحاث حديثة إلى دور بعض الفينولات (كالكركمين و الميريستين) في تثبيط تكاثر الفيروس.(Zhang et al.,2022)

III.2. الفعالية المضادة للبكتيريا:

III-2-1- تعريف البكتيريا:

تعرف البكتيريا بأنها كائنات حية دقيقة أحادية الخلية، بدائية النواة، تتميز بغياب النواة الحقيقية و العضيات الغشائية. تنتشر البكتيريا على نطاق واسع في مختلف البيئات ، بما في ذلك التربة و الماء و الهواء، إضافة إلى أجسام الكائنات الحية. وتعرف بقدرتها العالية على التكيف مع الظروف البيئية المتنوعة، مما يجعلها من أكثر الكائنات انتشارا على سطح الأرض ، حيث يمكن أن توجد في الظروف العادية وكذلك في البيئات القاسية. (محمود، د.ت)

III.2.2. الخصائص العامة للبكتيريا:

•كائنات مجهرية دقيقة بدائية النواة تتميز ببنية خلوية بسيطة تفتقر إلى نواة حقيقية.

•قد تكون متحركة بواسطة الأسواط عند توفرها.

•تتكاثر بعملية الانشطار الثنائي البسيط.

•تعتمد في تغذيتها على مواد عضوية أو غير عضوية

•يمتلك جدارها الخلوي صلابة نااتجة عن وجود مادة الببتيدوغليكان.

•تحتوي بعض الأنواع(خاصة سالبة االغرام) على تراكيب سطحية تعرف بالأهداب. (محمود، د.ت)

III.2.3. أوساط نمو البكتيريا :

تنمو البكتيريا داخل الأوساط الغذائية المخبرية ، ويتأثر تكاثرها ونشاطها بعدة عوامل بيئية من بينها:

• درجة الحرارة.

• قيمة الأس الهيدروجيني. (PH).

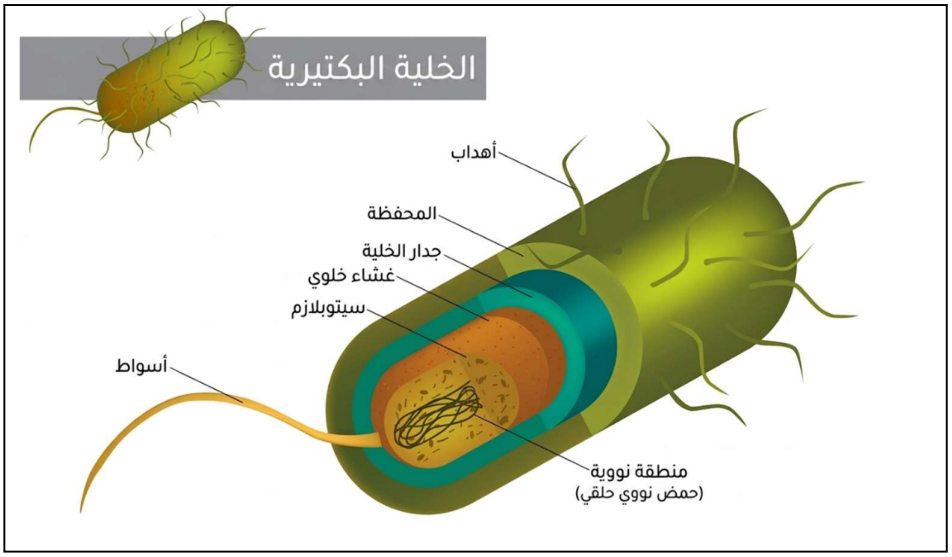
• تركيز الغازات المحيطة بها. (بن نعمية&بن نوح ،2025)

4.2.III. بنية البكتيريا:

تعد البكتيريا كائنات دقيقة أحادية الخلية، تتميز ببنية بدائية النواة تفتقر إلى غلاف نووي يحيط بمادتها الوراثية. يحيط بالخلية البكتيرية جدار خلوي صلب يمنحها شكلها المميز (كروي، عصوي، حلزوني) ويؤمن لها الحماية الفيزيائية، يليه إلى الداخل غشاء بلازمي نصف نفوذ ينظم تبادل المواد.

أما السيتوبلازم، فيحتوي على المادة الوراثية (DNA) التي تتركز في منطقة تعرف بالمناطق النووية، بالإضافة إلى الريبوسومات المسؤولة عن بناء البروتين. وتنفرد بعض الأنواع بوجود بنيات إضافية مثل المحفظة(Capsule) التي تزيد من ضراوتها وقدرتها على مقاومة الجهاز المناعي، و السياط (Flagella) التي تستخدمها كأداة للحركة، و الأهداب التي تساعدها على الالتصاق بالأسطح أو الخلايا المضيفة. (Al-Ghuneim, 2019)

تتميز البكتيريا بصغر حجمها مقارنة بالخلايا حقيقة النواة، حيث يتراوح طولها بين 0.5 و 5 ميكرومتر و عرضها بين 0.5 و 2 ميكرومتر. ويعد الميكرومتر (μm) وحدة القياس الأساسية لأبعاد الخلايا البكتيرية، كما تستخدم وحدات أصغر مثل النانومتر(nm) و الأنغستروم ($A°$) لدراسة التراكيب الدقيقة أو الكائنات الأصغر كالفيروسات باستخدام المجهر الإلكتروني. (محمود، د.ت)



الشكل (6.III): رسم تخطيطي لبنية البكتيريا

III.5.2. أنواع البكتيريا:

تصنف الخلايا البكتيرية بناء على مظهرها الخارجي (Morphology) ونمط تجمعاتها، وهومعيار أساسي في التشخيص الأولي داخل المختبرات البحثية. وتتوزع الأنماط المورفولوجية الرئيسية كما يلي:

- **البكتيريا الكروية (Cocci) :**

- ثنائية أو سلاسل : مثل Streptococcus (تحدث نتيجة الانقسام في مستوى واحد)
- رباعية أو مكعبة : مثل Sarcina (تنتج عن الإنقسام في مستويين أو ثلاثة)
- عنقودية : مثل Staphylococcus (انقسام في مستويات غير منتظمة

- **البكتيريا العصوية (Bacilli):**

- مكونة للأبواغ : تشمل أجناس Bacillus (هوائية) و Ciostridium (لا هوائية).
- غير مكونة للأبواغ : مثل Salmonella و Shigella.
- وتدية : تأخذ شكل الهراوة مثل بكتيريا الدفتريا.

- **البكتيريا الحلزونية (Spiral):**

- واوية (vibrio): انحناءة واحدة وشكل يشبه حرف (و).
- حلزونية صلبة (Spirillum): انحناءات متعددة وجدار صلب.
- لولبية مرنة(Spirochetes): خيوط لولبية دقيقة ومرنة.

- **أشكال استثنائية:**

- مربعة: بكتيريا محبة للملوحة (Archaea).
- متعددة الأشكال(Pleomorphism): قدرة الخلية على تغيير شكلها تحت الضغط البيئي. ((Zhou et al., 2015

6.2.III. تصنيف البكتيريا:

تصنف البكتيريا الى عدة أصناف: (بلفار آسيا،2018)

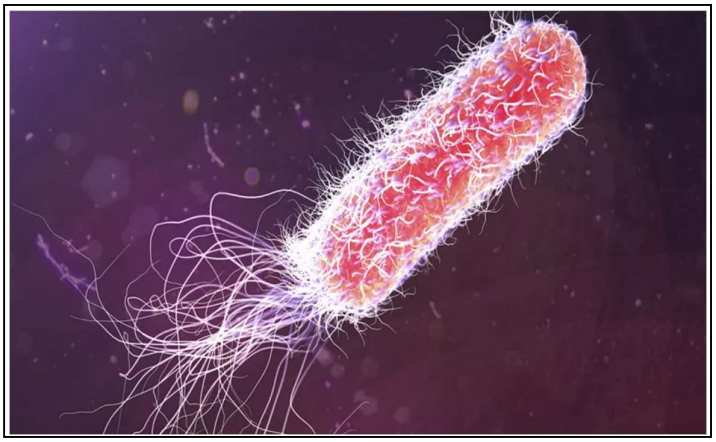
الجدول(4.III): تصنيفات البكتيريا

معيار التصنيف	النوع	الخصائص / الوصف
توزيع السوط	وحيدة السوط	يخرج سوط واحد من أحد أطراف الخلية
	سوطية الطرف	تخرج مجموعة من الأسواط من أحد أطراف الخلية
	سوطية الطرفين	تخرج مجموعة أو سوط واحد من كلا الطرفين
	ذات أسواط عديدة	تخرج الأسواط من جميع أطراف الخلية.
الشكل	العصوية	خلاياها تأخذ شكل العصويات الصغيرة تحت المجهر
	الكروية	خلاياها تأخذ شكل الكريات الصغيرة تحت المجهر
	الحلزونية	خلاياها تأخذ شكل حلزوني.
	الواوية	خلاياها تأخذ شكل الواو أو الضمة العربية.
الوسط المعيشي	هوائية	تعيش في وجود الهواء الجوي. Neisseria
	لا هوائية	تعيش في غياب الهواء الجوي. Clostridium
	لا هوائية اختيارية	تعيش وتنمو في غياب أو وجود الهواء الجوي
لتغذية	ذاتية التغذية	تستهلك الكربون للنمو
	عضوية التغذية	تحصل على الكربون من تحليل المواد كالسكر.
طريقة التلوين	موجبة الغرام	تمتص اللون وتظهر أرجوانية (جدارها أسمك)
	سالبة الغرام	تحرر الصبغة وتظهر حمراء.
الأثر على الإنسان	النافعة	تساعد في الهضم، تفرز فيتامينات، وتدخل في الصناعات.
	الانتهازية	تعيش دون ضرر لكنها تسبب أمراضاً عند انخفاض المناعة
	الضارة	تسبب مشاكل صحية وأمراضاً بمجرد دخولها الجسم.

7.2.III. أنواع البكتيريا المستعملة في الدراسة :

1.7.2.III. البكتيريا الزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeruginosa*:

تُعد Pseudomonas aeruginosa بكتيريا عصوية الشكل سالبة لصبغة غرام، وتُصنَّف في معظم ظروف نموها كبكتيريا هوائية إجبارية. تتميز مخبرياً بعدة خصائص فيزيائية مميزة، من أبرزها قدرتها على إنتاج صبغات ذائبة مثل البيوسيانين ذي اللون الأزرق المخضر والبيوفيردين ذي اللون الأصفر المخضر، إضافة إلى انبعاث رائحة مميزة تشبه العنب ناتجة عن نواتج استقلابية خاصة. وتُصنَّف هذه البكتيريا كممرض انتهازي، إذ نادراً ما تُسبب العدوى لدى الأفراد الأصحاء، لكنها تشكل خطراً كبيراً على المرضى ذوي المناعة الضعيفة، خاصة مرضى الحروق والجروح حيث تستعمر الأنسجة التالفة مسببة التهابات شديدة قد تتطور إلى نخر نسيجي، كما تُعد من أهم مسببات التهابات الجهاز التنفسي لدى مرضى التليف الكيسي نتيجة قدرتها على تكوين أغشية حيوية داخل الرئتين. إضافة إلى ذلك، يمكنها إحداث عدوى جهازية خطيرة مثل تعفن الدم أو إصابات الجهاز البولي والكلى، مما يرفع معدلات الوفيات. وتكمن خطورتها بشكل أساسي في امتلاكها مقاومة متعددة للمضادات الحيوية، إلى جانب قدرتها العالية على التكيف مع مختلف الظروف البيئية، وهو ما يجعل علاج العدوى المرتبطة بها تحدياً طبياً معقداً يتطلب استراتيجيات علاجية متقدمة.(د. عبدالرؤوف المناعمة،2018)



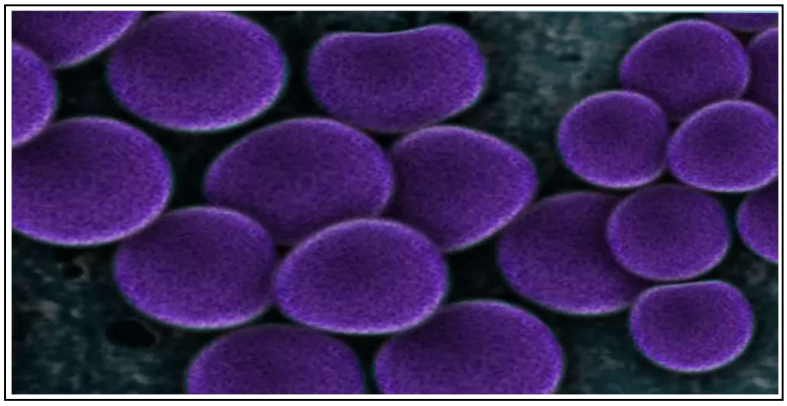
الشكل(7.III): شكل بكتيريا Pseudomonas aeruginosa

III.2.7.2. البكتيريا العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus*:

تُعد المكورات العنقودية الذهبية (Staphylococcus aureus) من البكتيريا الكروية موجبة الغرام، وتنتمي إلى عائلة .Staphylococcaceae تتميز هذه البكتيريا بظهورها المجهري على هيئة تجمعات غير منتظمة تشبه عناقيد العنب، نتيجة لانقسامها في عدة مستويات.

من الناحية الفيزيولوجية، تُصنَّف S. aureus كبكتيريا غير متحركة لافتقارها للأسواط، كما أنها غير قادرة على تكوين الأبواغ. وتُعد اختيارية الهوائية، إذ يمكنها النمو في وجود الأكسجين أو في غيابه. وتتميز بإنتاجها لإنزيم الكاتالاز، الذي يُستخدم للتفريق بينها وبين بكتيريا المكورات العقدية .(Streptococcus) كما تُعد إيجابية لإنزيم الكواجيولاز، وهي خاصية تشخيصية مهمة، إذ يمنحها هذا الإنزيم القدرة على تخثير بلازما الدم، مما يعزز من قدرتها على الإفلات من الاستجابة المناعية وزيادة ضراوتها.

توجد هذه البكتيريا بشكل طبيعي ضمن الفلورا الميكروبية للإنسان، خاصة على مستوى الجلد والأغشية المخاطية، لا سيما في التجويف الأنفي. ومع ذلك، يمكن أن تتحول إلى عامل ممرض انتهازي في حالات اختلال الحواجز الدفاعية أو ضعف الجهاز المناعي، مسببة طيفاً واسعاً من الإصابات التي تتراوح بين العدوى الجلدية السطحية والحالات الشديدة مثل تجرثم الدم والالتهاب الرئوي. (Brooks et al., 2013)

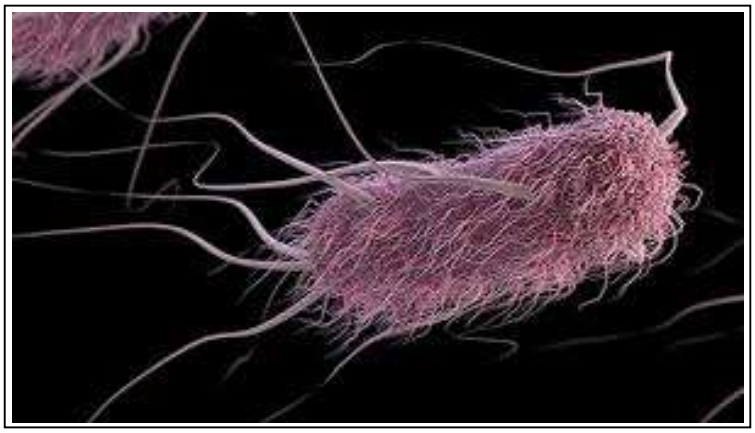


الشكل(8.III):شكل بكتيريا Staphylococcus aureus

III.3.7.2. بكتيريا إشيريشيا كولي *Esherichia coli*:

تُعد بكتيريا Escherichia coli من العصيات سالبة الغرام، وتنتمي إلى عائلة Enterobacteriaceae. تتواجد بشكل طبيعي ضمن الفلورا الميكروبية للأمعاء الغليظة لدى الإنسان والحيوانات ذوات الدم الحار، حيث تلعب دوراً مهماً في التوازن الميكروبي المعوي. تتميز هذه البكتيريا مورفولوجياً بشكلها العصوي، وتظهر مجهرياً باللون الوردي أو الأحمر عند صبغها بصبغة غرام. ومن الناحية الفيزيولوجية، تُصنَّف كبكتيريا لاهوائية اختيارية، إذ يمكنها النمو في وجود الأكسجين أو في غيابه، كما أن معظم سلالاتها متحركة بفضل امتلاكها للأسواط، وهي غير قادرة على تكوين الأبواغ. وتُعد قدرتها على تخمير سكر اللاكتوز من أهم خصائصها التشخيصية، حيث تُنتج أحماضاً وغازات، وتُظهر مستعمرات وردية على أوساط زراعية انتقائية مثل وسط MacConkey Agar.

وعلى الصعيد الطبي والبيئي، فإن غالبية سلالات E. coli غير ممرضة، بل تساهم في تصنيع بعض الفيتامينات مثل فيتامين K، وتحد من نمو الكائنات الدقيقة الضارة داخل الأمعاء. غير أن بعض السلالات الممرِضة ، قد تُسبب حالات مرضية خطيرة تشمل التسممات الغذائية، والتهابات المسالك البولية، والتهاب السحايا لدى حديثي الولادة. كما تُستخدم هذه البكتيريا على نطاق واسع كمؤشر حيوي على التلوث البرازي في المياه والأغذية، نظراً لارتباطها الوثيق بالبيئة المعوية. (Campbell et al., 2015)



الشكل(9.III): شكل بكتيريا Esherichia coli

3.III. المضادات الحيوية:

1.3.III. تعريف:

المضادات الحيوية هي مواد فعالة تستخدم لمكافحة الالتهابات البكتيرية، وقد اكتشفت لأول مرة عام 1928 على يد العالم ألكسندر فلمنج الذي لاحظ أن فطر البنسيليوم يثبط نمو البكتيريا(Fleming,1929,p.226). وتنقسم المضادات الحيوية إلى فئات متعددة بحسب آلية عملها:فمنها مايعمل على تدمير جدار الخلية البكتيرية كالبنسيلين و السيفالوسبورينات، ومنها ما يثبط تخليق البروتين كالتتراسيكلين و الماكروليدات(Rang et al.,2020,p.415). وتجدر الإشارة إلى أن الاستخدام المفرط وغير الرشيد للمضادات الحيوية أدى إلى ظهور ما يعرف ب"مقاومة المضادات الحيوية"، وهي من أخطر التحديات الصحية العالمية في القرن الحادي و العشرين(WHO,2023)، إذ تقدر منظمة الصحة العالمية أن مقاومة مضادات الميكروبات قد تتسبب في وفاة 10 ملايين شخص سنويا بحلول عام 2050 إن لم تتخذ إجراءات عاجلة(O Neill,2016,p.3)

2.3.III. خصائص ومميزات المضادات الحيوية:

- السمة الانتقائية.
- تثبيط تخليق البروتين.
- تدمير غشاء الخلية البكتيرية.
- إفراز عبر الكلى أو الكبد.
- امتصاص جيد عبر الجهاز الهضمي للأشكال الفموية.
- سرعة مفعول نسبية مقارنة بعلاجات أخرى. (Rang et al.,2020,p.415)
- فعالية فعالية ضد طيف واسع من البكتيريا.
- إمكانية الاستخدام وقائيا وعلاجيا.
- عدم التأثير على الفيروسات
- تثبيط تخليق الحمض النووي DNA
- الاستهداف النوعي لجزيئات بكتيرية محددة(Halawa et al.,2024)

III.3.3. أنواع المضادات الحيوية:

تصنف المضادات الحيوية وفقا لآلية تأثيرها ووظيفتها الأساسية تجاه الخلية البكتيرية إلى نوعين رئيسيين:

❖ **مضادات حيوية مثبطة لنمو البكتيريا (Bacteriostatic antibiotics):**

تعمل هذه المضادات على إيقاف نمو وتكاثر الخلايا البكتيرية دون القضاء عليها مباشرة، حيث تسمح للجهاز المناعي بالتخلص منها تدريجيا. زمن أمثلتها السلفونااميدات و الكلورامفينيكول.

❖ **مضادات حيوية قاتلة للبكتيريا (Bactericidal antibiotics):**

تؤثر هذه المضادات بشكل مباشر على الخلية البكتيرية، إما عبر إتلاف جدارها الخلوي و التسبب في تحللها، أو من خلال تثبيط تصنيع البروتينات و العمليات الحيوية الضرورية لبقائها، مما يؤدي إلى موتها. ومن أبرز أمثلتها البنسلين، الجنتاميسين، و الأمبيسيلين.(هامل&زيارة,2024)

III.4.3. الطرق القياسية لتحديد تأثير نشاط المضاد الحيوي :

تتنوع الطرق القياسية المعتمدة لتقييم النشاط المضاد الحيوي إلى فئتين رئيسيتين(حوة ابراهيم 2019):

❖ **الطرق الميكروبيولوجية:**

- تعتمد على زراعة البكتيريا في الأوساط المغذية الاصطناعية.
- تجرى عبر اختبارات الانتشار في الاغار.
- تشمل تقنيتين رئيسيتي:اختبار التخطيط الاشعاعي، واختبار انتشار الأقراص.

❖ **الطرق التقنية:**

- تستخدم للتشخيص السريع أو عند عدم كفاية الطرق الميكروبيولوجية التقليدية.
- تعتمد على تقنيات قياس متقدمة تشمل: تقدير درجة العكارة، قياس مستوى النشاط الإنزيمي.

الفصل الرابع

الجانب العملي

IV. مدخل:

في هذا الفصل ، تطرقت إلى الدراسة التطبيقية التي تشمل استخلاص زيت من بن القهوة المستعمل .وحديدت بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت المستخرج وذلك بهدف تقييم جودته و إمكانية استخدامه في مجالات مختلفة.

1.IV.الأدوات و الأجهزة والمواد المستخدمة:

الجدول(1.IV): الادوات و الأجهزة المستعملة في العمل

مسخن كهربائي	قمع
جهاز أمواج فوق صوتية	تركيبة المعايرة
مكثفة	مخبار مدرج
ميزان إلكتروني	ورق الترشيح
دوارق مختلفة الاحجام	بياشر
فرن كهربائي	إرلن
جهاز السوكسلي	علب بتري
جهاز التبخير الدوار	ماصة
جهاز قياس قرينة الانكسار	حوجلة عيارية
جهاز الأشعة فوق البنفسجية	ماسح قطني معقم
حاضنة	ملقط
فرن باستر	ورق Whatmans $N°3$

الجدول(2.IV): المواد المستعملة في العمل

المواد	الصيغة الاجمالية	الكتلة المولية g/mol	النقاوة%	المؤسسة
ثيوسولفات صوديوم	$N_{a2}S_2O_3$	158.09	99.5	BIOCHEM
كبريتات الصوديوم	Na_2SO_4	142.04	99	MERCK
كاشف النشاء	$(C_6H_{10}O_5)_n$	162.141	/	MERCK
إيثانول	C_2H_5OH	46.07	96	GPRPECTAPUR
ثنائي ميثيل سلفوكسيد	$(CH_3)2SO$	78.06	99.5	PRLABO
حمض غاليك	$C_7H_6O_5$	170.12	99.5	SIGMA-ALDRICH
كاشف Folin ciocaltu	/	/	/	MERCK
يوديد بوتاسيوم	KI	166	99	BIOCHEM
إيثر بترولي	/	86	99	SIGMA-ALDRICH
فينول فيثالين	$C_{20}H_{14}O_4$	318.32	99	MERCK
هكسان	C_6H_{14}	86.178	90	BIOCHEM
هيدروكسيد بوتاسيوم	KOH	56.11	99	SIGMA-ALDRICH
حمض هيدروكلوريك	HCl	36.46	37	MERCK
كلوروفورم	$CHCl_3$	119.8	99.5	BIOCHEM
الماء الفيزيولوجي	NaCl	58.443	/	MERCK
محلولWijis	ICl	162.357	/	BIOCHEM

2.IV. تحضير العينة:

تم جمع عينة من تفل القهوة المستعمل من أحد المقاهي المحلية (من نوع 1001)، حيث تعود حبوبها إلى نوع Robusta coffee ، تم اختيارها بعناية لإزالة الشوائب المحتملة. بعد ذلك، خضعت العينة لعملية تجفيف داخل فرن تجفيف عند درجة حرارة 105°C لمدة خمس (5) ساعات وذلك بهدف التخلص من الرطوبة وتحسين مردود عملية الاستخلاص . ونظرا للطبيعة الدقيقة لبقايا القهوة المستعملة ، لم يتم إخضاعها لعملية الطحن، حيث استعملت مباشرة في مرحلة الاستخلاص.

الشكل(1.IV): تفل القهوة المستعمل

3.IV- تعيين محتوى الرطوبة:

قمت بوزن العينة ثم وضعها في الفرن الكهربائي لمدة خمس (5) ساعات عند درجة حرارة 105°C . بعد التجفيف تم وزن العينة وحساب المرود وفق العلاقة التالية:

$$\text{محتوى الرطوبة}\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

m_1 : وزن العينة قبل التجفيف

m_2: وزن العينة بعد التجفيف

4.IV. إستخلاص الزيت:

✓ الإستخلاص بطريقة الموجات فوق الصوتية:

تم استخلاص زيت القهوة من العينة باستعمال تقنية الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية. حيث تم أخذ كمية من التفل المستعمل المجفف حوالي 50g ووضع في إرلن حجمه 250 ml، ثم أضيف إليها مذيب عضوي يتمثل في الإيثر البترولي حوالي 250ml. وضع المزيج في حمام فوق الصوتي لمدة 30 دقيقة عند درجة حرارة 25 °C، ساهم هذا في تحسين انتقال المركبات الدهنية من المصفوفة الصلبة إلى الطور السائل بفضل ظاهرة التجويف. ثم أضيفت كمية من كبريتات الصوديوم اللامائية (Na_2SO_4) لإزالة آثار الماء و تجفيف الطور العضوي بعد ذلك تم فصل الطور السائل عن الصلب بواسطة الترشيح، ثم أزيل المذيب العضوي بالتبخير باستعمال جهاز المبخر الدوراني عند الدرجة 40°C للحصول على الزيت الخام. وضع الزيت في فرن تجفيف لتخلص من بقايا مذيب ثم حفظ في درجة حرارة منخفضة إلى غاية إجراء التحاليل الفيزيائية و الكيميائية عليه.

الشكل(2.IV):جهاز الأمواج فوق الصوتية

الشكل(3.IV): جهاز المبخر الدوراني

✓ الإستخلاص بطريقة السوكسلي:

تم استخلاص الزيت من تفل القهوة المستعمل باستعمال طريقة السوكسلي ،حيث تم وزن كمية قدرها 86.42g من تفل القهوة بعد تجفيف ووضعت في كرتوش، ثم أضيف 350ml من الإيثر البترولي داخل جهاز الإستخلاص. أجريت عملية الإستخلاص لمدة 6 ساعات متواصلة لضمان استخلاص أكبر قدر ممكن من المركبات الدهنية. بعد إنتهاء العملية، تُرك المزيج ليبرد إلى درجة حرارة الغرفة ثم أضيفت كمية من كبريتات الصوديوم اللامائية (Na_2SO_4) لإزالة آثار الماء و تجفيف الطور العضوي. تم ترشيح المزيج لفصل المذيب المحمل بالمستخلص عن الرواسب الصلبة. تم تركيز الراشح باستخدام المبخر الدوراني لإسترجاع المذيب و الحصول على زيت خام، ثم وضع الناتج في فرن تجفيف لإزالة بقايا المذيب بشكل كامل. في النهاية، حفظ الزيت المستخلص في قارورة زجاجية محكمة الإغلاق، بعيدا عن الضوء و الحرارة، إلى حين إستخدامه في التحاليل الفيزيائية والكيميائية.

الشكل(4.IV):تركيبة السوكسلي

5.IV. تحديد النسبة المئوية الوزنية للزيت المستخلص:

تم تحديد النسبة المئوية الوزنية لمردود الزيت المستخلص من خلال حساب كتلة الزيت المحصل عليه بالنسبة إلى الكتلة الابتدائية للعينة المستعملة في الاستخلاص. وذلك وفق العلاقة التالية:

$$\text{النسبة المئوية الوزنية للزيت} = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

m_1 : كتلة الزيت المستخلص

m_2 : كتلة العينة الجافة (تفل القهوة)

6.IV. الثوابت و المؤشرات الفيزيائية و الكيميائية للزيت:

1.6.IV. دراسة الخصائص الفيزيائية لزيت القهوة:

1.1.6.IV. الكثافة النوعية:

بسبب غياب الأجهزة المخصصة لقياس الكثافة النوعية، تم اعتماد منهج تقليدي لتقديرها. إذ تم سحب حجم معلوم من الزيت(1ml) عند درجة حرارة ثابتة مقدارها 20°C ،ثم قياس كتلته باستخدام ميزان دقيق . بعد ذلك، حسبت الكتلة الحجمية من خلال قسمة الكتلة المقاسة على الحجم المحدد. ولضمان موثوقية النتائج، أجريت القياسات تحت نفس الشروط الحرارية 20°C . وفي مرحلة لاحقة، تم تحديد الكثافة النوعية للزيت اعتمادا على نسبة كتلته الحجمية إلى الكتلة الحجمية للماء عند نفس درجة الحرارة.

2.1.6.IV. قرينة الانكسار:

تم تحديد قرينة الانكسار بطريقة القياس المباشر باستخدام جهاز قياس قرينة الإنكسار، حيث وضعت قطرة من عينة الزيت بين صفيحتين زجاجيتين ضمن الجهاز. وبعد تثبيت العينة وضبط شروط القياس، تم تسجيل القيمة مباشرة، ثم استخدمت العلاقة الرياضية η_D^{20} لحساب القيمة النهائية بدقة.

الشكل(5.IV): جهاز قياس قرينة الإنكسار

2.6.IV. دراسة الخصائص الكيميائية لزيت القهوة:

1.2.6.IV. رقم الحامض:

تم وزن كتلة من الزيت قدرها 0.2g وإذابتها في 10ml من الهكسان ، ثم بعد ذلك إضافة قطرات من كاشف الفينول فيثالين ، ويتم المعايرة باستعمال محلول كحولي هيدروكسيد البوتاسيوم KOH عياريته (0.01N) حتى يتغير اللون ونحسب حجم تكافؤه. حيث يحسب رقم الحامض وفق العلاقة التالية:

$$IA = \frac{V \times N \times 56.1}{m}$$

IA: رقم الحامض

V: حجم محلول KOH اللازم للمعايرة بالمليلتر

N: عيارية محلول KOH

m. كتلة الزيت بالغرام

56.1: الوزن الجزيئي لهيدروكسيد البوتاسيوم KOH

2.2.6.IV. رقم التصبن:

تم وزن كتلة قدرها 0.4g من الزيت و نضعها في دورق سعته 100ml ، نضيف لها 20ml من المحلول الكحولي KOH عياريته (0.2N) ونسخن الخليط حتى الغليان لمدة زمنية قدرها 30 دقيقة مع التكثيف لحين إختفاء قطرات الزيت نترك خليط مدة زمنية قصيرة ثم نضيف له قطرات من كاشف الفينول فيثالين ،ويعاير المحلول بواسطة محلول مائي لحمض هيدروكلوريك HCl عياريته (0.2N).حيث يحسب رقم التصبن وفق العلاقة التالية:

$$\mathbf{IS}= \frac{(\mathbf{V_0}-\boldsymbol{V})\times \mathbf{N}\times \mathbf{56.1}}{\boldsymbol{m}}$$

IS: رقم التصبن

V_0: حجم محلول HCl المستعمل بدون إستعمال الزيت بالمليلتر

V: حجم محلول HCl اللازم لتعديل المحلول الصابوني بالمليلتر

N: عيارية محلول HCl (0.2N)

m: كتلة الزيت بالغرام (0.4غ)

56.1: الوزن الجزيئي لهيدروكسيد البوتاسيوم KOH

3.2.6.IV. رقم اليود:

تم وزن كتلة قدرها 0.2 g ووضعت في إرلن ماير سعته 250ml وتذاب بالكلوروفورم $CHCl_3$ بحجم 15ml ، ثم يضاف 15ml من محلول wijis (تركيزه 0.1M) ، ويترك المزيج في الظلام لمدة زمنية قدرها ساعة ، بعد ذلك يضاف 10ml من محلول مائي ليوديد البوتاسيوم KI (10%) ، ثم يضاف 150 ml من الماء المقطر ،ونعاير المزيج بمحلول ثيوسلفات الصوديوم $Na_2S_2O_3$ (0.1N) حيث يبدأ اللون الأحمر يختفي ويتحول إلى أصفر باهت نستعمل النشاء ككاشف فيتغير لونه من الأزرق الى الشفاف ونسجل حجم التكافؤ. حيث يحسب رقم اليود وفق العلاقة التالية:

$$\mathbf{II}= \frac{(v_0 - v_1)\times N \times 12.69}{m}$$

II: رقم اليود.

N: عيارية محلول Wijis (0.1M) وهي نفسها عيارية ثيوسلفات الصوديوم.

V_0: حجم محلول Wijis بالمليلتر.

V_1: حجم محلول ثيوسلفات الصوديوم بالمليلتر.

m: كتلة الزيت بالغرام.

IV.7. تحليل تركيب الأحماض الدهنية:

تم تحديد المحتوى النوعي والكمي للأحماض الدهنية المكونة للزيت محل الدراسة في مركز البحث العلمي والتقني في التحاليل الفيزيائية والكيميائية **(CRAPC)** بفرع ورقلة. استُخدم لهذا الغرض جهاز **GC-MS/MS** المعتمد على تقنية الكروماتوغرافيا الغازية **(CPG)** وفق المعايير والظروف التشغيلية التالية:

IV.7.1. المعايير التشغيلية لكروماتوغرافيا الغاز(GC-2030) :

- **العمود التحليلي :** من نوع **Rxi-5Sil MS** .
- **البرمجة الحرارية للأفران :** ضُبطت الحرارة لتبدأ من 40°C ، وتتدرج تصاعدياً لتصل إلى 250°C بناءً على برنامج زمني مدروس.
- **درجة حرارة الحقن :** ثُبتت عند 220°C .
- **الغاز الناقل :** تم استخدام غاز **الهيليوم** كغاز خامل.

IV.7.2. إعدادات مطيافية الكتلة(Mass Spectrometry) :

- **مصدر التأيين :** ضُبطت درجة حرارته عند **200°C**
- **درجة حرارة الواجهة(Interface) :** حددت بـ **250°C**
- **نمط الكشف :** استُخدم وضع المسح **Q3 Scan**

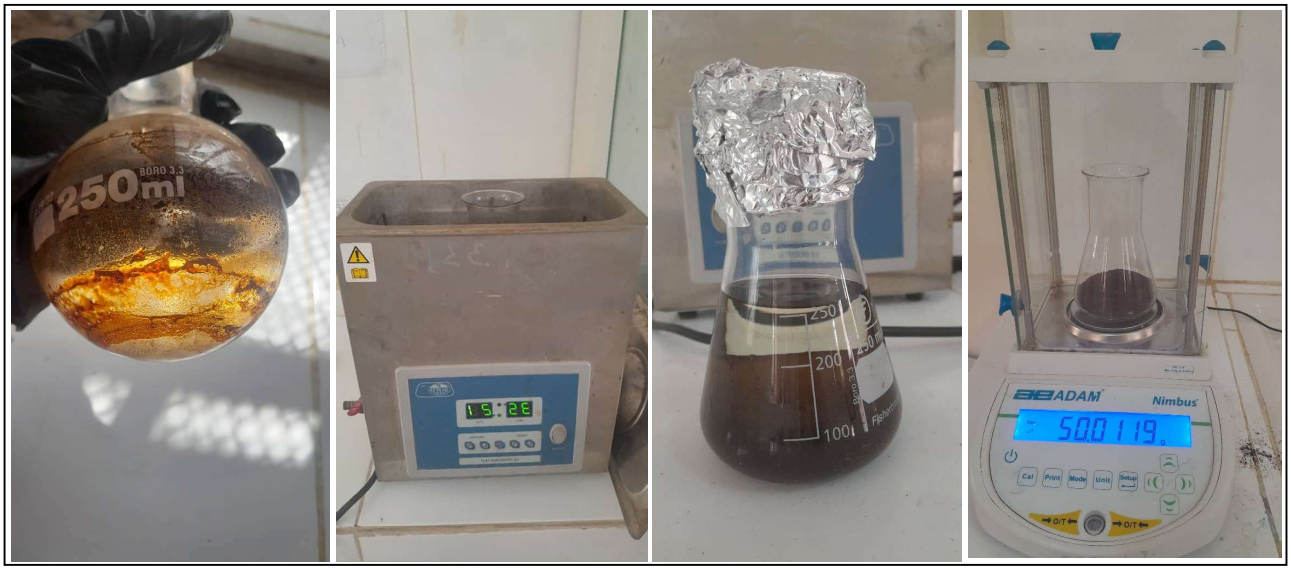
IV.7.3. تحديد الهوية والموثوقية:

لضمان دقة تحديد المركبات وتأكيد هويتها الكيميائية، تمت مطابقة النتائج مع مكتبتين مرجعيتين للمطياف هما **NIST17** و **W11N17MAIN1**. إن الاعتماد على المقارنة بين هاتين المكتبتين يساهم بشكل مباشر في رفع مستوى الموثوقية وتعزيز دقة التحليل النهائي.

الشكل(6.IV): جهاز كروماتوغرافيا الطور الغازي مع مطيافية الكتلة

8.IV. استخلاص المركبات الفينولية:

باستخدام مذيب الإيثانول تم إستخلاص المركبات الفينولية انطلاقا من تفل القهوة المستعمل بعد أن نزعت منه جميع المركبات الدهنية. حيث تم وزن كتلة مقدارها 20g من العينة ووضعت في دورق إرلنماير بسعة 250ml ،ثم أضيف إليه 250ml من الإيثانول . بعد ذلك ، خضعت العينة لعملية الإستخلاص بمساعدة الأمواج فوق الصوتية لمدة زمنية قدرها 30 دقيقة بهدف تعزيز انتقال المركبات الفينولية إلى الوسط المذيب. رشيح المزيج لفصل الراسب عن المستخلص، ثم أخضع الراشح لعملية التبخير باستخدام المبخر الدوراني عند درجة حرارة 40°C لإسترجاع المذيب و الحصول على مستخلص خام. في النهاية تم إذابة جزء من المستخلص الخام في الإيثانول وجزء آخر في ثنائي ميثيل السلفوكسيد(DMSO) ، ثم حفظت المحاليل الناتجة إلى غاية إجراء التحاليل اللاحقة.



الشكل(7.IV): مراحل استخلاص المستخلص الفينولي

IV.9. تحديد النسبة المئوية للمستخلص الفينولي:

$$\mathbf{R = \frac{m}{m_0} \times 100}$$

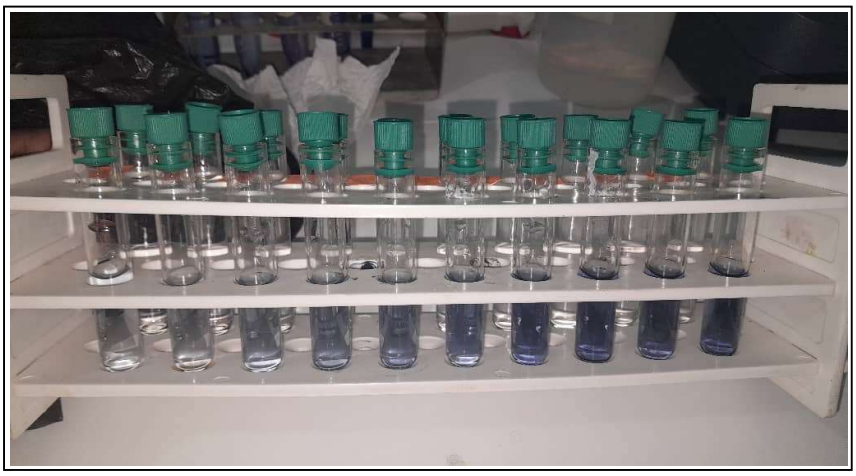
m: وزن المستخلص بالغرام

m_0: وزن تفل القهوة المستخلص

IV.10. التقدير الكمي للمركبات الفينولية:

تم تحديد كمية المركبات الفينولية في المستخلص المدروس باستخدام تقنية مطيافية الأشعة المرئية (Spectoscopie UV-Vis) وفق بروتوكول (Folin-Ciocalteu) . يعتمد هذا القياس على استخدام حمض الغاليك كمركب مرجعي (Standard) لتحضير منحنى المعايرة، حيث تم قياس الإمتصاصية عند طول موجة يبلغ $\lambda = 760nm$. وتتلخص الخطوات التجريبية المتبعة في الآتي:

- ✓ قمت بتحضير محاليل ممددة لحمض الغاليك تراكيزها تتراوح بين 0.06 إلى 0.3 غ/ل في أنبوب إختبار نأخذ $100\mu l$ من المحاليل الممدة ثم أضفت 0.5ml من كاشف Folin ciocaltu (ممدد 10 مرات) ثم أضفت 2ml من محلول كربونات الصوديوم Na_2CO_3 (20%) ثم قمت بوضع المحاليل في الظلام مدة زمنية قدرها 30 دقيقة عند درجة حرارة الغرفة .



الشكل (8.IV): سلسلة تراكيز حمض الغاليك المستخدمة في رسم منحنى المعايرة

ثم قمت بحساب الكثافة الضوئية بجهاز الطيف المرئي عند طول موجة $\lambda_{max} = 760nm$، وسجلت قيم الإمتصاصية.

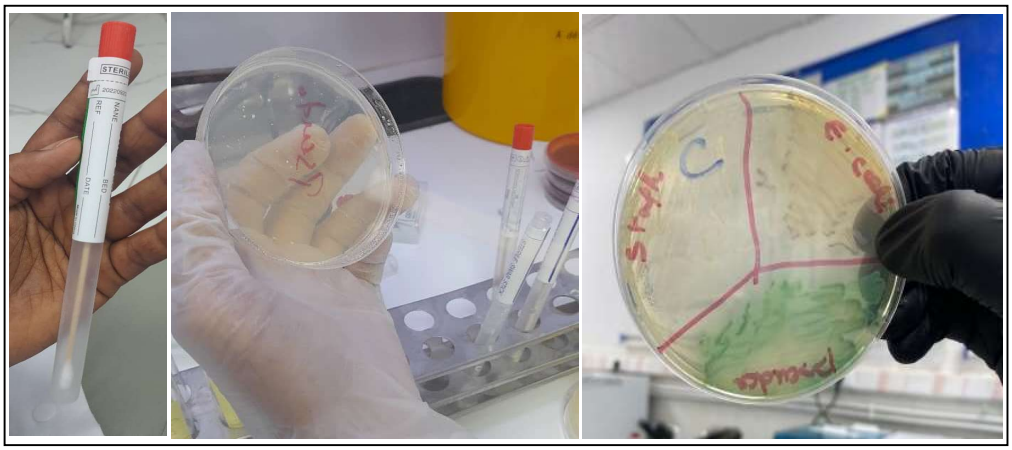
رسم منحنى القياسي للإمتصاصية بدلالة التركيز ***A= F(C)***

الشكل (9.IV): جهاز *Spectoscopie UV-Vis* لقياس الإمتصاصية

11.IV. دراسة الفعالية البيولوجية:

تم القيام بدراسة الفعالية البيولوجية على مستوى المخبر المركزي للمؤسسة الأستشفائية الأم و الطفل المجاهد خليل عبد الوهاب بولاية تقرت .هدف هدا العمل لدراسة تأثير تأثير المستخلص لزيت تفل القهوة و المستخلص الفينولي عللى سلالات بكتيرية ممرضة متمثلة في: (***Esherichia coli***)، (***Pseudomonas aeruginosa***)،(***Staphylococcus***) حيث إعتمدنا على طريقة الإنتشار بالأقراص. وفق البروتوكول التالي:

- ✓ تم زرع البكتيريا المدروسة على وسط غذائي GN وتركها في الحاضنة لمدة 24 ساعة للحصول على نمو الكافي.
- ✓ بعد ذلك حُضر وسط مولر-هينتون (MH) بإذابته في حمام مائي حتى الذوبان الكامل، ثم صُب في أطباق بتري معقمة وترك ليبرد ويتصلب في درجة حرارة الغرفة.
- ✓ تم تحضير أقراص ورقة من ورق (Whatmans Nº3) ، حيث قطعت إلى أقراص صغيرة، ووضعت في علب نظيفة ثم عقمت في فرن التعقيم عند درجة 180°C لمدة ساعة.
- ✓ تم تحضير معلق بكتيري وذلك بأخذ مستعمرات بكتيرية و نقلت إلى أنابيب إختبار تحتوي على محلول كلوريد الصوديوم(NaCl) المعقم، ثم رُجت للحصول على معلق متجانس.



الشكل(10.IV): تحضير الوسط الزرعي و المعلق البكتيري

- ✓ غمس مسحة قطنية معقمة في المعلق البكتيري، وتم نشره على سطح وسط مولر-هينتون بطريقة متجانسة مع تدوير الطبق لضمان توزيع موحد للبكتيريا.
- ✓ تم تحضير تخافيف مختلفة من المستخلص الزيتي و المستخلص الفينولي باستعمال ثنائي ميثيل سلفوكسيد DMSO حيث استخدمت تراكيز مختلفة وذلك بإستخدام ماصة دقيقة (Micropipette) .
- ✓ شبعت الأقراص الورقية بهذه التراكيز المختلفة، ووضعت بعناية على سطح الأوساط المزروعة باستعمال ملقط معقم.

الشكل(11.IV): طريقة زراعة المعلق البكتيري وتحميل المستخلصات

- ✓ حضنت أطباق بتري مقلوبة في حاضنة عند درجة حرارة 37°C لمدة 24 ساعة، وبعد إنتهاء فترة الحضانة تم قياس أقطار مناطق التثبيت الناتجة حول الأقراص لتقييم النشاط المضاد للبكتيريا لكل تركيز.

الشكل(12.IV): حضن أطباق بتري في الحاضنة

12.IV. النتائج و المناقشة:

من خلال الدراسة حول تفل القهوة المستعمل بلغ محتوى الرطوبة في العينة المدروسة 34% ، وهي قيمة تقع ضمن النطاق المتوسط مقارنة بما أوردته الدراسات العلمية في هذا المجال. فقد أشارت دراسة **(Mussatto et al., 2011)** إلى أن تفل القهوة المستعمل يحتوي طبيعيا على نسبة رطوبة مرتفعة جدا عند استخلاصه مباشرة بعد التحضير، إذ تتراوح نسبة الرطوبة الطبيعية في تفل القهوة بين 60% و 80% من مسحوق القهوة المستعمل. كما أكدت دراسة **(Maiyah et al.,2025)** أن محتوى الرطوبة في تفل القهوة الطازج يتراوح بين 64.79% و 65.87% على أساس الوزن الرطب. غير أن القيمة المحصل عليها في الدراسة 34% تعد أقل من هذا النطاق بشكل ملحوظ، مما يعني أن العينة خضعت لتجفيف مسبق جزئي قبل التحليل، وهو إجراء ضروري للحصول على نتائج دقيقة و قابلة للمقارنة .وفي هذا السياق، أوضحت دراسة **(Tun et al.,2020)** أن التجفيف في ظروف الهواء الطلق لمدة 10 ساعات يخفض محتوى الرطوبة إلى نحو 37% وهو ما يتقارب مع قيمة الدراسة المتحصل عليها. و تجدر الإشارة إلى أن متحوى الرطوبة يؤثر تأثيرا مباشرا على كفاءة الاستخلاص، إذ أثبتت دراسة **(Efthymiopoulos et al.,2019)** أن ارتفاع نسبة الرطوبة عن 2% يقلل من مردود الزيت المستخلص، مما يجعل التجفيف المسبق للعينة خطوة أساسية قبل الشروع في عمليات الاستخلاص.

1) استخلاص الزيت:

الجدول(3.IV): مردود استخلاص الزيت بالطريقتين

المردود	طريقة الإستخلاص
%5. 2	الإستخلاص بالأمواج الفوق الصوتية (Ultrasound-Assisted Extraction)
%3. 19	الإستخلاص بجهاز السوكسلي (Extraction Soxhlet)

أدى استخلاص الزيت من مخلفات القهوة بطريقتين مختلفتين عن مردودين متباينين، إذ بلغ المردود 5.2% بطريقة الأمواج فوق الصوتية مقابل 3.1% بطريقة السوكسلي. ويفسر هذا الفارق الملحوظ أن طريقة الأمواج فوق الصوتية تقوم بعملية التجويف الصوتي التي تحدث كسرا ميكانيكيا لجدران الخلايا وتحسن معامل نقل الكتلة بين الطورين الصلب والسائل، مما يسهل خروج الزيت بكفاءة أعلى وفي وقت أقصر، وهو ما أكدته دراسة **(Ranic et al., 2014)** التي أثبتت أن هذه التقنية تحسن مردود الاستخلاص بنسبة

تتراوح بين 20% و 60% مقارنة بالطرق التقليدية. أما طريقة السوكسلي فرغم كونها الطريقة المرجعية الكلاسيكية، إلا أنها تعتمد على الاستخلاص التدريجي بالتسخين و التكثيف دون أي تكسير ميكانيكي للخلايا، ممايقلل من كفاءة وصول المذيب إلى المواد الدهنية المحبوسة داخل الجدران الخلوية. وتتوافق قيمة المردود المحصل عليها بهذه الطريقة مع ما أورده **(Mussatto et al.,2011)** الذي أفاد بأن مردود الزيت المستخلص من مخلفات القهوة بطريقة السوكسلي يتراوح بين1.5% و 3.8% حسب نوع القهوة وظروف الاستخلاص كما أشارت دراسة **(Caetano et al.,2012)** إلى أن محتوى الرطوبة في المخلفات ونوع المذيب المستخدم وحجم جزيئات المادة المطحونة تعد من أبرز العوامل المؤثرة في المردود النهائي، في حين أكدت دراسة **(Kondamudi et al.,2008)** وأن الزيت المستخلص من مخلفات القهوة يمتلك إمكانات تثمينية واعدة تجعله مادة ذات قيمة صناعية وبيئية عالية.

- **مقارنة بين الزيتين من حيث طرق الاستخلاص :**

الجدول(4.IV): مقارنة بين زيتين من حيث طريقة الاستخلاص

المعيار	الأمواج فوق الصوتية	السوكسلي
المردود	مردود أحسن5.2%	مردود أقل 3.19%
مددة الاستخلاص	30-60 دقيقة مدة قصيرة	6-8 ساعات مدة أطول
حجم المذيب	أكثر (نسبة 1:10)	أقل اقتصادي (نسبة 1:4)
اللون	أصفر فاتح إلى أخضر	أصفر داكن إلى بني
الرئحة	رائحة قهوة قوية ومركزة	رائحة قهوة خفيفة مع رائحة المذيب
الطبيعة	سائل خفيف قوام لزج	سائل ثقيل قوام أكثر لزوجة
درجة الحرارة	درجة حرارة المحيط أمن	تسخين مستمر مرتفع
جودة الزيت	محافظة على المركبات الفعالة	تحلل جزئي بسبب الحرارة

2) الخصائص الفيزيوكيميائية:

من خلاص الدراسة تم تلخيص نتائج المحصل عليها في الجدول الموالي:

الجدول(5.IV): الثوابت الفيزيوكيميائية لزيت تفل القهوة مستخلص بالامواج فوق الصوتية

الكثافة النوعية d_4^{20}	قرينة الانكسار η_D^{20}	رقم التصبن IS	رقم الحامض IA	رقم اليود II
0.958	1.474	145.294	7.537	45.398

➢ الكثافة النوعية:

بلغت الكثافة النوعية لزيت تفل القهوة المستخلص بطريقة الأمواج الفوق الصوتية $0.958g/cm^3$ وهي قيمة تقع في الحدود المقبول علميا لزيوت القهوة. حيث أشارت دراسة **(Ariga et al.,2018)** إلى أن الكثافة النوعية لزيت القهوة تتراوح بين 0.83 و 0.99 عند درجة حرارة 20°C .وأكدت دراسة **(Dang&Nguyen.,2019)** أن الكثافة النوعية لزيت القهوة تتراوح بين 0.93 و 0.97 وهو ما يعكس تباين الجودة و النقاء بحسب طريقة الاستخلاص و المعالجة وتتوافق القيمة المحصل عليها مع نفس المجال .كما وجد **(Oliveira et al.,2022)** أن الكثافة النوعية لزيت القهوة المحمص بلغت 0.938g/ml عند 25°C وهي أقل من القيمة المحصل عليها ويفسر هذا الفارق البسيط إلى إخلاص طريقة الاستخلاص .في حين سجلت دراسة **(Caetano et al.,2017)** كثافة $0.903g/cm^3$ لزيت تفل القهوة المستخلص بالهكسان في جهاز السوكسلي وهو أدنى قيمة من نتيجة المحصل عليها مما يفسر أن طريقة الأمواج الفوق الصوتية تستخلص كميات أكبر من المركبات الثقيلة كالأحماض الدهنية الحرة التي ترفع الكثافة. حيث تعد الكثافة النوعية مؤشرا مهما على تركيب الزيت و نقاوته وقيمة 0.95 تدل على زيت غني بالأحماض الدهنية غير المشبعة ذات الوزن الجزيئي المرتفع.

➢ قرينة الانكسار:

بلغت قيمة قرينة الانكسار لزيت تفل القهوة المستخلص بطريقة الأمواج فوق الصوتية 1.474 وهي قيمة تتوافق مع ما جاء في الدراسات العلمية. فقد أثبتت دراسة **(Bijla et al.,2022)**أن قيمة الانكسار 1.47 لزيت تفل القهوة المغربي وهي قيمة تقع في مجال الزيوت النباتية الشائعة كزيت الذرة و السمسم وهو ما يؤكد تجانس الكسر الدهني وينفي أي احتمال للتلوث أو الغش. كما أشارت دراسة **(Rudan-Tasic& Klofutar.,1999)** أن قيمة الانكسار للزيوت النباتية تتراوح 1.46 و 1.47 ، و أن زيت الذرة يسجل قيمة 1.47 عند درجة 25°C وهو ما يتطابقة مع نتيجة محصل عليها .كما أكدت دراسة **(Endo.,2018)** أن الزيوت النباتية عموما تسجل قيمة انكسار تبلغ1.47 باستثناء زيت النخيل الذي يتراوح بين 1.44 و 1.45 مما يدل أن زيت تفل القهوة يصنف من الزيوت النباتية الغنية بالأحماض الدهنية غير المشبعة. حيث ترتبط قيمة الانكسار بدرجة عدم التشبع الأحماض الدهنية ،أي كلما ارتفعت نسبتها كحمض اللينوليك و الأوليك ارتفعت قيمة الانكسار مما يجعل قيمة 1.47 دليلا على غنى زيت تفل القهوة بهده الأحماض ذات القيمة الغذائية و الصناعية العالية.

➢ رقم الحامض:

بلغ رقم الحامض لزيت تفل القهوة المستخلص بطريقة الأمواج الفوق الصوتية 7.537$mgKOH/g$ وهي قيمة تقع ضمن المجال المسجل في الدراسات العلمية المتعلقة بزيت تفل القهوة . حيث أثبتت دراسة **(HO et al.,2022)** أن الاستخلاص بالأمواج فوق الصوتية أعطى رقم حامض لزيت القهوة قيمة قدرها 7.80$mgKOH/g$ وهو مايتقارب جدا مع النتيجة محصل عليها ، مما يؤكد أن طريقة الاستخلاص المستخدمة تؤثر بشكل مباشر على نسبة الأحماض الدهنية الحرة في الزيت. في حين سجلت دراسة **(Mussatto et al.,2011)** أن رقم الحامض لزيوت تفل القهوة المستخلصة بمذيبات مختلفة يتراوح بين 3.9 و 12.5 حسب نوع المذيب و ظروف الاستخلاص وتقع نتيجة محصلة في منتصف المجال. كما أوضحت دراسة **(Muangrat& pongsirikul.,2019)** أن الاستخلاص بثاني أكسيد الكربون فوق الحرج في ظروف مثلى أعطى رقم حامض منخفضا يبلغ 3.89 و هو أقل من نتيجة المحصلة ويفسر ذلك أن هذه التقنية المتطورة تقلل من التأكسد وتحافظ على سلامة الأحماض الدهنية أكثر من الطرق التقليدية.

- **رقم اليود:**

بلغ رقم اليود لزيت تفل القهوة المستخلص بطريقة الأمواج الفوق الصوتية $45.398gI_2/g$ وهو مؤشر مهم يعكس درجة عدم إشباع الأحماض الدهنية في الزيت وأشارت دراسة **(Taylor&Francis., 2023)** أن رقم اليود يصنف وفق ثلاث فئات: الزيوت الجافة بقيمة 130، وشبه الجافة بين 90 و130، وغير الجافة بأقل من 90، مما يصنف زيت تفل القهوة ضمن فئة الزيوت غير الجافة ذات الاستقرار التأكسدي الجيد وتتوافق هذه النتيجة جزيئيا مع ما ورد في دراسة **(Caetano et al.,2013)** التي أكدت أن رقم اليود يتراوح بين 47.6 و 70.5 وتقع قيمتنا عند الحد الأدنى لهذا المجال.

- **رقم التصبن:**

بلغ رقم التصبن لزيت تفل القهوة المستخلص بطريقة الأمواج فوق الصوتية 145.294mgKOH/gوهو مؤشر يعكس متوسط الوزن الجزيئي للأحماض الدهنية المكونة للزيت، أي كلما انخفض رقم التصبن دل على ارتفاع الوزن الجزيئي للزيت للأحماض الدهنية وطول سلاسلها الكربونية. سجلت دراسة **(Muangrat&Pongsirikul.,2019)** رقم تصبن لزيت تفل القهوة المستخلص بثاني أكسيد الكربون فوق الحرج في الظروف المثلى 212.05 وهو أعلى نطاق مسجل في دراسات. كما سجلت دراسة **(Hanif et al.,2019)** قيمة قريبة نسبيا بلغ فيها رقم الحامض لزيت القهوة المستخلص بالسوكسلي 176.40 .وأفادت دراسة **(Ho et al.,2022)** التي استخدمت الأمواج الفوق الصوتية رقم تصبن منخفض جدا مقدر 16.33 ويفسر هذا باختلاف نوع القهوة و المذيب المستخدم. ويمكن القول بالنسبة للانخفاض النسبي في قيمة التصبن مقارنة بالدراسات بأن أغلب الزيوت المستخلصة بالأمواج فوق الصوتية يحتوي على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية ذات الوزن الجزيئي الثقيل وسلاسل الكربون الطويلة كحمض اللينوليك و الأوليك مما يقلل من رقم التصبن.ويفسر ذلك أيضا إلى وجود مركبات غير قابلة للتصبن كالستيرولات و التوكوفيرولات التي نستخلصها الأمواج فوق الصوتية بكفاءة أعلى وهو ما أكدته دراسة **(Bijla et al.,2022)** التي أشارت إلى أن وجود هذه المركبات الثقيلة يؤثر على رقم التصبن.

من خلال رقم التصبن يمكننا معرفة قيمة الكتل الجزيئية التوسطة للجليسريدات M_{moy}^{TG} وكذلك قيمة الكتل الجزيئية المتوسطة للأحماض الدهنية المكونة للجليسريدات الثلاثية M_{moy}^{AG} ويتم حسابهما بالعلاقتين التاليتين:

$$M_{moy}^{TG} = \frac{3 \times 56110}{IS}$$

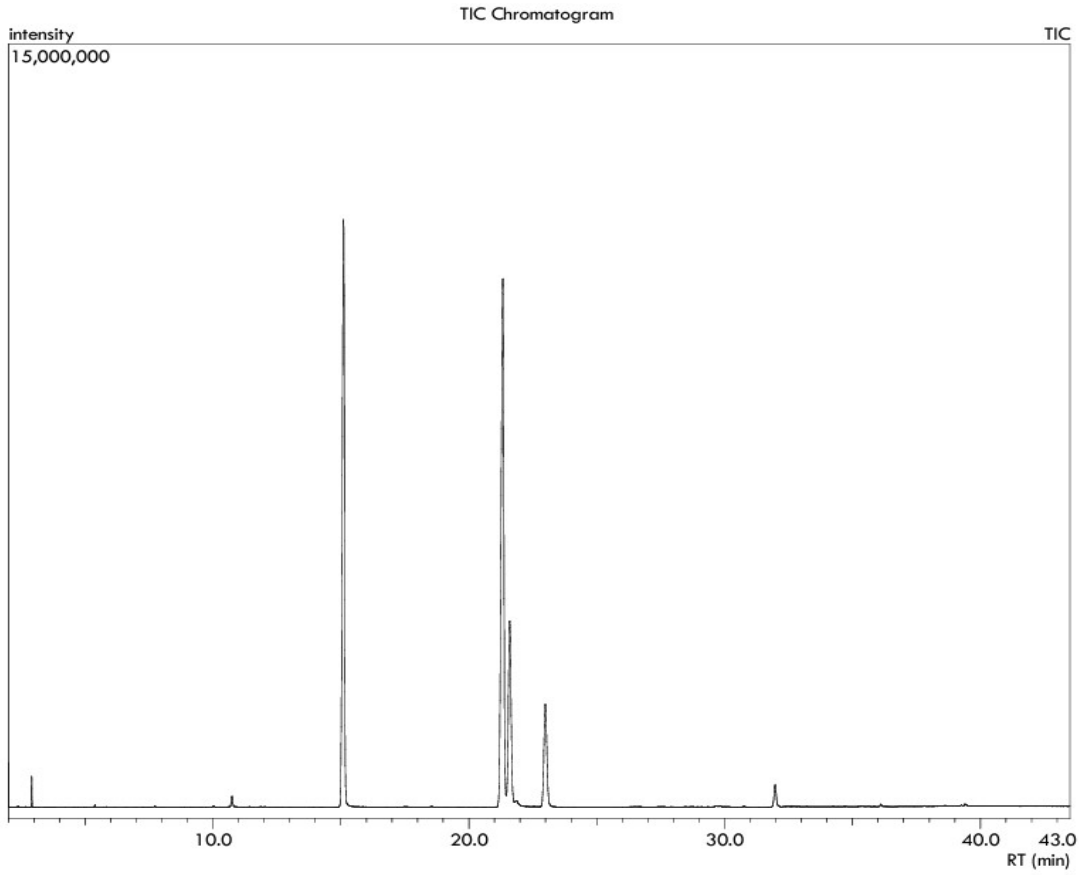
$$M_{moy}^{AG} = \frac{M_{moy}^{TG} - 38}{3}$$

حيث بلغت الكتلة الجزيئية المتوسطة للجليسيريدات M_{moy}^{TG} : 1158.547(g/mol)

وقيمة الكتل الجزيئية المتوسطة للأحماض الدهنية المكونة للجليسريدات الثلاثيةM_{moy}^{AG}:
373.513(g/mol)

3) مناقشة نتائج تحليل الأحماض الدهنية في زيت تفل القهوة المستعمل:

تم إجراء التحليل، حيث أسفرت النتائج عن الحصول على كروماتوغرام *GC-MS* الذي مكن من تحديد النسب المئوية للأحماض الدهنية المكونة لزيت تفل القهوة.وسيتم فيما يلي تحليل ومناقشة نسب الأحماض الدهنية الرئيسية، حيث أظهرت النتائج مايلي:



الشكل(13.IV): التحليل الكروماتوجرافي الغازي-الطيفي الكتلي *(GC-MS)* لزيت تفل القهوة المستعمل

الجدول(6.IV): الأحماص الدهنية المكونة لزيت تفل القهوة

	الحمض الدهني	الإسم العلمي	نسبة الحمض الدهني في زيت
1	حمض البالميتيك C16:0	Hexadecanoic acid, methyl ester	%34.98
2	حمض اللينولييك C18:2	9,12-Octadecadienoicacid(z,z)-,methyl ester	%39.93
3	حمض الستياريك C18:0	Methyl stearate	%8.47
4	حمض الأولييك C18:1	9-Octadecenoic acid (z)-,methyl ester	%14.34
5	حمض مثيل نونديكانويك C20:0	Methyl 18-methylnonadecanoate	%1.45
6	حمض الإلاديك C18:1	9-Octadecenoic acid,methyl ester,(E)	%0.5
	النسبة الإجمالية		%99.67
	نسبة الأحماض الدهنية المشبعة%		%45.02
	نسبة الاحماض الدهنية الغير المشبعة%		%54.98
	نسبة الأحماض الدهنية الغير المشبعة إلى الأحماض الدهنية المشبعة		%1.22

أظهرت نتائج التحليل الكروماتوجرافي الغازي-الطيفي الكتلي (GC-MS) لزيت مخلفات القهوة المستعملة أن التركيب الدهني للزيت يتميز بهيمنة خمسة أحماض دهنية رئيسية شكلت معاً ما نسبته 99.67% من إجمالي الأحماض الدهنية المكتشفة. وقد تبين أن حمض اللينوليك (C18:2) هو الحمض الدهني السائد بنسبة 39.93%، يليه حمض البالميتيك (C16:0) بنسبة 34.98%، ثم حمض الأوليك (C18:1) بنسبة 14.34%، وحمض الستياريك (C18:0) بنسبة 8.47%. وتتوافق هذه النتائج بشكل ملحوظ مع الدراسات السابقة على زيت مخلفات القهوة، حيث أشارت دراسة **Koshima et al. (2020)** إلى أن زيت مخلفات القهوة يحتوي على نسبة عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة، خاصة حمض اللينوليك الذي يتراوح بين 39.9-47.5%، وحمض البالميتيك بنسبة 34.6-39.1%، مما يؤكد أن عملية التحميص والاستخلاص لا تؤثران بشكل جوهري على التركيب النسبي للأحماض الدهنية الأساسية. ومن الجدير بالذكر أن إجمالي الأحماض الدهنية غير المشبعة في العينة المدروسة بلغ 54.98%، بينما شكلت الأحماض المشبعة 45.02%، وهذه النسبة تقع ضمن المدى المذكور في الأدبيات العلمية والذي يتراوح بين 46-58% للأحماض غير المشبعة في زيت مخلفات القهوة **(Raba et al., 2018; Campos-Vega & Oomah, 2015).**

ويعزى ارتفاع نسبة حمض اللينوليك بشكل خاص إلى طبيعته كحمض دهني أساسي في حبوب القهوة، حيث يحتفظ بتركيزه العالي حتى بعد عملية التحميص واستخلاص الزيت من المخلفات، مما يمنح الزيت قيمة غذائية وتطبيقية عالية، رغم أنه يجعله أكثر عرضة للأكسدة مقارنة بالزيوت الغنية بالأحماض المشبعة .**(Speer & Kölling-Speer, 2006)** أما بالنسبة لحمض البالميتيك، فإن نسبته (34.98%) تتفق تماماً مع ما أوردته Martín et al. (2001) في دراستهم حول التمييز بين أنواع القهوة المختلفة بناءً على ملفاتها الدهنية، حيث وجدوا أن حمض البالميتيك يشكل المكون الرئيسي للأحماض الدهنية المشبعة في جميع أنواع القهوة، وتتراوح نسبته بين 34.6-55.84%. ومن الناحية التطبيقية، فإن التركيب الدهني لزيت مخلفات القهوة المستعملة، والمتمثل في التوازن النسبي بين الأحماض المشبعة وغير المشبعة، يجعله مرشحاً واعداً للتطبيقات الصناعية المتعددة، بما في ذلك إنتاج الوقود الحيوي (Biodiesel) نظراً لاحتوائه على نسبة معتبرة من الأحماض الدهنية ذات السلاسل المتوسطة والطويلة(C16-C18) ، وكذلك في صناعة المستحضرات التجميلية والعناية بالبشرة لوجود حمض البالميتيك الذي يتمتع بخصائص وقائية ومرطبة **.(Wagemaker et al., 2011)** وتجدر الإشارة إلى أن النتائج ذات النسب الضئيلة جداً (أقل من 0.1%) مثل حمض الأوكتانويك وحمض الدوديكانويك ومشتقات الهيكزاديكا-4،2-دابينوات، قد تم استبعادها من المناقشة التفصيلية لعدم دقتها ولأنها قد تمثل نواتج ثانوية لعمليات الأكسدة أو التحلل الحراري أثناء التحميص أو الاستخلاص، ولا تعكس التركيب الدهني الأصلي لمخلفات القهوة، وهو ما يتفق مع منهجية التحليل المعتمدة في الدراسات المرجعية التي تركز على الأحماض الدهنية الرئيسية فقط **(Raba et al., 2018; Koshima et al., 2020)**

4) استخلاص المركبات الفينولية:

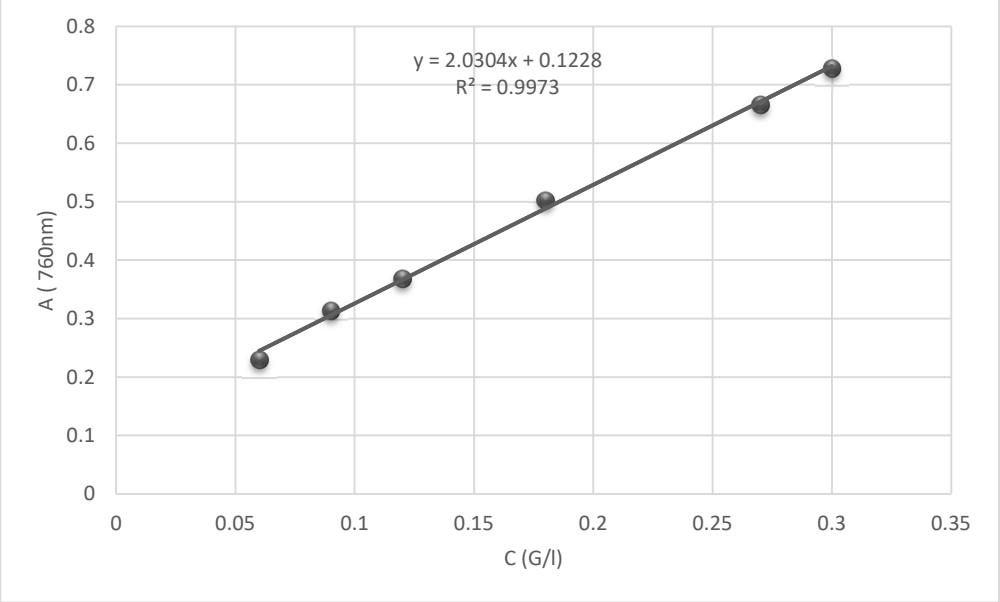
- **مردود الاستخلاص للمستخلص الفينولي:**

الجدول(7.IV): مردود استخلاص المركبات الفينولية

الكتلة m(g)	المردود R(%)
0.442	**2.212**

- **تقدير كمية المركيات الفينولات الكلية:**

منحنى معايرة حمض الغاليك:



الشكل(14.IV): المنحنى القياسي لإمتصاصية محلول حمض الغاليك *(*Acide gallique

تم تقدير المحتوى الكلي للمركبات الفينولية باستعمال طريقة Singleton-Rossi اعتمادا على كاشف Folin-Ciocalteu مع استخدام حمض الغاليك كمرجع قياسي . أظهرت النتائج وجود علاقة خطية بين الامتصاصية وتركيز حمض الغاليك وفق معادلة المنحنى القياسي ذو المعادلة ; Y=2.0304) (R=0.997حيث بلغ المحتوى الفينولي لتفل القهوة المستعمل 1.41 mgGA/g لكل غرام من الوزن الجاف للعينة، وتتوافق هذه القيمة مع ما أوردته دراسة **(Firdaus et al.,2026)** التي سجلت أدنى قيمة فينولية بلغت 1.44mgGA/g باستخدام مذيب الجليسيرول الخالص بطريقة الأمواج فوق الصوتية، وهي قيمة قريبة من القيمة المحصل عليها. كما تندرج ضمن النطاق الأدنى الذي رصدته دراسة **Solomakou et al. (2022)** التي أكدت أن االمحتوى الفينولي الكلي لتفل القهوة المستخلص بالأمواج فوق الصوتية يتراوح بين 4.50 و 17.17mg/g حسب نوع المذيب وظروف الاستخلاص ، في حين سجلت دراسة **(Bouhzam et al.,2023)** قيمة 4.37 mg/g باستخدام الأسيتون المائي 20% في ظروف استخلاص بسيطة .ويبقى هذا المحتوى الفينولي ذا قيمة تثمينية معتبرة نظرا للفعالية البيولوجية المعروفة للمركبات الفينولية في تفل القهوة.

5) الفعالية المضادة للبكتيريا:

نظرا لتزايد مقاومة السلالات البكتيرية للمضادات الحيوية التقليدية، أصبح البحث عن بدائل طبيعية ذات نشاط مضاد للبكتيريا أمرا مهم. ولهذا تم تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا لكل من زيت تفل القهوة و المستخلص الفينولي لتفل القهوة ضد سلالات بكتيرية مختلفة تشمل Escherichia coli و Pseudomonas aeruginosa و Staphyiococcus aureus، وذلك من خلال قياس أقطار مناطق التثبيط لتحديد درجة حساسية هذه السلالات تجاه المستخلصات المدروسة، حيث تم تصنيف النشاط المضاد للبكتيريا كما يلي:

(-): يعتبر المستخلص غير فعال إذا كان قطر منطقة التثبيط أقل من 8mm

(+): نشاط مضاد متوسط ، عندما يتراوح قطر منطقة التثبيط بين mm(14-9)

(++): نشاط مضاد جيد، عندما يتراوح قطر منطقة التثبيط بين mm(19-15)

(+++): نشاط مضاد قوي، إذا تجاوز قطر منطقة التثبيط 20mm

➢ دراسة الفعالية ضد البكتيريا للمستخلص الزيتي:

أثبتت نتائج اختبار الفعالية المضادة للبكتيريا، المنجز وفق البروتوكول المعتمد وتحت شروط مضبوطة، أن زيت تفل القهوة لم يظهر أي نشاط تثبيطي تجاه السلالات البكتيرية المختبرة، حيث لم تلاحظ أي هالات تثبيط حول مناطق التطبيق. وتوضح الصور التالية النتائج المتحصل عليها أثناء إجراء الاختبار.

الشكل(15.IV): تأثر المستخلص الزيتي تجاه أنواع البكتيريا

لم يظهر المستخلص الزيتي لتفل القهوة أي نشاط تثبيطي واضح ضد البكتيريا المختبرة Esherichia coli وPsudomonas aeruginosa و Staphylococcus aureus. إلا أن غياب هذا التأثير لا يدل بالضرورة على انعدام فعاليته البيولوجية ، بل قد يرتبط بعدة عوامل كيميائية ومنهجية. حيث تتميز مكونات المستخلص الزيتي مثل الديتيربينات و الأحماض الدهنية غير المشبعة، بطبيعتها الهيدروفوبية، مما يحد من ذوبانها وانتشارها في الأوساط المائية و بالتالي يقلل من وصولها إلى الخلايا البكتيرية بتركيز فعال. وقد أشار **(Raba et al.,2015)** في دراسته أن النشاط المضاد للبكتيريا لزيت تفل القهوة يعتمد بشكل كبير على التركيز المستعمل و طريقة الإذابة. كما أوضح **(Desbois & Smith2010)** أن الأحماض الدهنية الحرة تحتاج إلى وصول التركيز لحد معين لإحداث اضطراب في الغشاء البكتيري.

➢ **دراسة الفعالية ضد البكتيريا للمستخلص الفينولي:**

الشكل(16.IV): تأثير المستخلص الفينولي تجاه أنواع البكتيريا

الجدول(8.IV): فعالية المستخلص الفينولي ضد مجموعة من أنواع البكتيريا

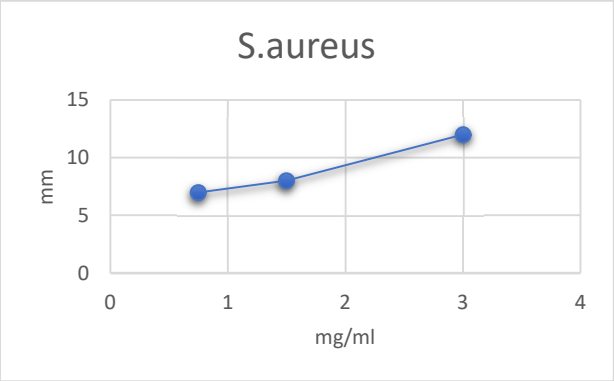
الشاهد السلبي	البكتيريا				
	P. aeruginosa	*S.* aureus		E. coli	
DMSO	/	+	12	+	11
	/	_	8	+	10
	/	_	7	_	7

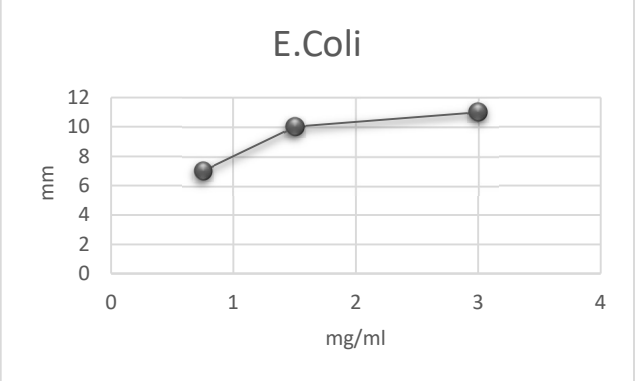
أظهرت نتائج هذه الدراسة أن المستخلص الفينولي لتفل القهوة يمتلك نشاطا مضادا للبكتيريا تجاه كل من Esherichia coli و Staphylococcus aureus ، بينما لم يظهر أي تأثير تثبيطي على Psudomonas aeruginosa. ويعزى هذا النشاط إلى غنى المستخلص بالمركبات الفينولية، خاصة حمض الكلوروجينيك و الفلافونويدات و التانينات ، المعروفة بفعاليتها المضادة للميكروبات. إذ تعمل هذه المركبات على زيادة نفاذية الغشاء الخلوي البكتيري، وتعطيل بعض الإنزيمات و البروتينات الضرورية لنمو الخلية و تكاثرها.وتتوافق هذه النتائج مع ما أشار إليه **(Diaz-Hernandez et al.,2022)** حيث أكدت الدراسة

أن مستخلصات تفل القهوة الغنية بحمض الكلوروجينيك تمتلك نشاطا واضحا ضد البكتيريا الموجبة و السالبة الغرام.

أما غياب التأثير على Psudomonas aeruginosa فيفسر بالمقاومة الطبيعية العالية التي تتميز بها هذه البكتيريا، نتيجة امتلاكها غشاء خارجيا غنيا بالسكاريد الدهني (LPS)، إضافة إلى مضخات الطرد النشط وقدرتها على تكوين غشاء حيوي(Biofilm)، وهي عوامل تحد من نفاذ المركبات الفينولية وتقلل من فعاليتها المضادة للبكتيريا، وهو ما أكده **(Nikaido.,2003)**.

❖ علاقة تركيز المستخلص بقطر هالة التثبيط:





الشكل(17.IV): منحنى العلاقة بين تركيز المستخلص الفينولي و قطر هالة التثبيط ضد البكتيريا

يوضح منحنى العلاقة بين تركيز المستخلص الفينولي لتفل القهوة وقطر هالة التثبيط وجود علاقة طردية واضحة، حيث لوحظ ازدياد قطر التثبيط تدريجيا مع زيادة التركيز المستعمل. يدل هذا السلوك على أن النشاط المضاد للبكتيريا يعتمد على التركيز، إذ تسمح التراكيز المرتفعة بزيادة كمية المركبات الفينولية الفعالة القادرة على التأثير في الغشاء الخلوي البكتيري. وتوافق هذا الاتجاه مع ما ورد في عدة دراسات سابقة حول الفعالية المضادة للبكتيريا لمستخلصات القهوة الغنية بالمركبات الفينولية، والتي أكدت أن ارتفاع التركيز يؤدي إلى زيادة فعالية التثبيط البكتيري. **Aalam et al.,2024; Oulahal& (Degraeve.,2022)**

➢ **المقارنة بين المستخلصين:**

أظهرت نتائج الدراسة تفوق المستخلص الفينولي لتفل القهوة على المستخلص الزيتي من حيث النشاط المضاد للبكتيريا تحت نفس الشروط التجريبية، مع استعمال مذيب DMSO لكلا المستخلصين. ويُعزى ذلك إلى الطبيعة الهيدروفيلية للمركبات الفينولية، مما يسمح بتوزعها بشكل أفضل في وسط الزرع وسهولة تفاعلها مع الخلايا البكتيرية مقارنة بالمركبات الزيتية ذات الطبيعة الهيدروفوبية.

ورغم أن تركيز المستخلص الفينولي المستعمل كان منخفضا نسبيا، إلا أنه أظهر نشاطا تثبيطيا واضحا، مما يدل على فعالية هذه المركبات حتى عند التراكيز الضعيفة، مع احتمال زيادة النشاط المضاد للبكتيريا بارتفاع التركيز. في مقابل ، لم يظهر المستخلص الزيتي أي تأثير ملحوظ ، وهو ما قد يرتبط بمحدودية ذوبانيته وانتشاره في الوسط الجرثومي رغم احتوائه على مركبات فعالة بيولوجيا.

كما سجلت مقاومة Psudomonas aeruginosa لكلا المستخلصين، وهي نتيجة تتوافق مع ما ورد في الدراسات العلمية نظرا لامتلاك هذه البكتيريا آليات مقاومة طبيعية متقدمة، مما يستدعي مستقبلا اعتماد استراتيجيات أكثر فعالية .

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة

كان الهدف من دراستنا تثمين مخلفات القهوة (تفل القهوة)، التي تُمثل مورداً عضوياً مهدراً بكميات ضخمة، وذلك عبر دراسة تركيبها الكيميائي وتقييم فعاليتها الحيوية، سعياً لتحويلها من مخلفات بيئية إلى ثروة ذات قيمة مضافة. وقد استهلت الدراسة بتحديد الخصائص الفيزيائية للمادة الخام التي سجلت نسبة رطوبة بلغت 34%، مما يعكس طبيعة هذه المخلفات الحساسة تجاه التخزين. وكخطوة تقنية جوهرية، قمنا باستخلاص الزيت باستعمال طريقتي السوكسلي والأمواج فوق الصوتية، حيث كشفت النتائج عن تفوق ملحوظ للتقنية الحديثة (الأمواج فوق الصوتية) بمردود 5.2% مقارنة بـ 3.1% للطريقة التقليدية، مما يؤكد جدوى اعتماد التقنيات النظيفة في رفع كفاءة الاستخلاص.

عند دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت، أوضحت التحاليل دلالات تقنية هامة، حيث سُجلت كثافة نوعية بـ 0.958 وقرينة انكسار بلغت 1.474، بينما عكست أرقام التصبن (145.29 mgKOH/g) والحموضة (7.53 mgKOH/g) واليود (45.39 g/100g) الخصائص الكيميائية النوعية لهذا الزيت. والأكثر أهمية، هو ما كشفه التحليل الكروماتوغرافي للأحماض الدهنية عن هيمنة واضحة لحمض اللينولييك وحمض البالميتيك في تركيب الزيت، وهو ما يمنح هذا المنتج إمكانات استراتيجية واعدة في التطبيقات الصناعية كصناعة مستحضرات التجميل أو الزيوت التقنية.

وفيما يتعلق بالمكونات الفينولية، تمكنا من استخلاصها بمردود 2.21% وتركيز 1.41mg/g ، حيث أثبتت الاختبارات البيولوجية أن المستخلص الفينولي يمتلك قدرة تثبيطية بكتيرية مشجعة، تأكدت من خلال العلاقة الطردية بين تركيز المستخلص والنشاط التثبيطي، مما يفتح الباب أمام استخدامه كبديل طبيعي للمواد الحافظة الكيميائية. في المقابل، وعلى الرغم من غنى الزيت بالأحماض الدهنية، إلا أنه لم يُبدِ نشاطاً بكتيرياً مماثلاً في ظروف التجربة، مما يوجهنا نحو ضرورة التركيز على المستخلصات القطبية للاستفادة من فعاليتها الحيوية.

وفي ضوء هذه النتائج، نوصي بضرورة تبني رؤية صناعية متكاملة تبدأ بتعميم تقنيات الاستخلاص الحديثة لتعظيم المردود الاقتصادي، مع توجيه الدراسات المستقبلية نحو التوصيف البنيوي الدقيق للمركبات الفينولية عبر تقنيات الفصل الكروماتوغرافي المتقدمة لفهم آليات تأثيرها البيولوجي. كما ندعو إلى الربط الوثيق بين البحث العلمي والقطاع الصناعي لتهيئة الظروف لرسكلة هذه المخلفات وتحويلها إلى مواد أولية

ذات جدوى اقتصادية، مع توسيع نطاق الاختبارات البيولوجية لتشمل سلالات بكتيرية وفطرية متنوعة، لترسيخ دور مخلفات القهوة كركيزة حيوية في تحقيق التنمية المستدامة والاقتصاد الدائري..

قائمة المراجع

المراجع العربية

- ابراهيم حوة دراسة الفعالية البيولوجيجة لبعض نباتات العائلة الشفوية و الفعالية ضد الأكسدة، مذكرة ماجيستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة2018.
- أبو كبدة، إيمان بشير. (د.ت.). فوائد وأضرار الزيوت: الجزء الثاني. مكتبة نور.
- اسيا بلفار، دراسة القدرة المضادة للأكسدة و للبكتيريا وللتآكل للمستخلصات الفينولية لنبات(Limoniastrum guyonianum) أطروحة دكتورا، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018.
- بكري القربي،عصام صهيون، خالد السماعيل، ومحمد جمال اللحام، هدرجة الزيوت مشروع تخرج لنيل شهادة الإجازة في الكيمياء التطبيقية جامعة دمشق كلية العلوم 1981.
- جاسم محمود. (د.ت). مبادئ علم الأحياء المجهرية: المحاضرة الثانية (البكتريا) [محاضرة جامعية مطبوعة]. قسم التربة والموارد المائية، كلية الزراعة، جامعة الأنبار، العراق.
- خضرة عزري، دراسة الليبيدات و الفينولات في بعض أنواع التمر المحلين مذكرة ماجستير تخصص الكيمياء العضوية وفيزيوكيميائية الجزيئات جامعة قاصدي مرباح ورقلة2013.
- سندس هامل، تقى زيارة، المساهمة بدراسة خصائص الزيت المستخلص من نبتة (Balanites eagyptiaca)والتركيب الحمضي له مذكرة ماستر تخصص كيمياء المواد الطبيعية جامعة ورقلة 2024.
- طارق اسماعيل كاخيا، تكنولوجيا الزيوت و الدهون و الصناعات القائمة عليها، الجمعية الكيميائية السورية، 2006.
- طارق إسماعيل، كاخيا. (د.ت.). طرق فصل الأحماض الدسمة وأسترتها: زيت الجفت نموذجاً. الجمعية الكيميائية السورية.
- عبد الرؤوف المناعمة،الجنزارية المقاومة للكاربابنيمات.الجامعة الاسلامية -فلسطين 2018
- عبد الناصر حنو إجراءات جديدة لدعم أسعار القهوة في الجزائر بعد بلوغها مستويات قياسية.تادامسا نيوزhttps://tadamsanews.dz/إجراءات-جديدة-لدعم-أسعار-القهوة-في-الج/[تم الاطلاع عليه: ماي2025]
- فتيحة دراجي، كرامة رجاء ، دراسة نظرية حول تأثير طرق استخلاص الزيوت النباتية على تركيبها و فعاليتها مذكرة ماستر تخصص كيمياء مواد جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2022.
- فرج محمد، رضوان صدقي. (1995). التحاليل الطبيعية والكيماوية للزيوت والدهون .المكتبة الأكاديمية.

- قسم التحرير، الجزائر تتصدر المراكز الأولى إفريقيا في استهلاك القهوة، الوسط الجزائرية، نشر في 70ماي 2023.متاح على https://elwassat.dz/الجزائر-تتصدر-المراكز-الأولى-إفريقيا/ [تم الاطلاع عليه:ماي 2025]
- مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. (2011، أبريل). الزيوت والدهون (الجزء الأول). مجلة العلوم والتقنية، 25(98).
- مصطفى بن علي، دراسة الجزء الليبيدي و الفينولي لنوى بعض أصناف التمور المحلية أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018.
- مواهب السوسو، وسهيل مخول، "شجرة البن"، مجلة موسوعة العلوم وتقانات، العلوم وتقانات الزراعية والغذائية، دمشق، المجلد الخامس، طبعة 2019
- هيام بوليحة.،نسرين بوصلاح. تأثير إضافة (SCG) للتربة على خصائص النمو لدى نوع من النجيليات (القمح - Triticum) ونوع من البقوليات (العدس - Lens Culinaris) - دراسة ميدانية بشمال شرق الجزائر قسنطينة - مذكرة ماستر،تخصص بيولوجيا و فيزيولوجيا انتاج نباتي.جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1. (2022)
- هيئة الطاقة الذرية السورية .تقرير البرنامج الوطني لتقييم جودة تحاليل المواد الغذائية: الدورة الأولى(تقرير فني صادر عن مكتب ضمان الجودة)دمشق، سوريا.(2011) .

المراجع الأجنبية

- Aalam, Z., Khtira, A., Joine, M., Akbib, N., Gharby, S., & Sakar, E.H. (2024). Valorization of spent coffee grounds as an antimicrobial agent and variation of its potential according to solvent extraction and microbial strain: a multivariate comparative study. Biomass Conversion and Biorefinery, 15(8), 12959–12977.
- Al-Ghunaim, M. Y. (2019). Bacteria and life [Al-Bakteria wa al-hayat]. Journal of Arabization of Medicine, Arab Center for Authorship and Translation of Health Science, Kuwait, (57).
- Antibacterial Free Fatty Acids: Activities, Mechanisms of Action and Biotechnological Potential. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(6), 1629–1642.
- Ariga, S.R., Aisyah, Y., Patria, A., Arpi, N., & Yunita, D. (2018). Physicochemical Characterization of Oil from Roasted Coffee. Proceeding of The 8th AIC: Health and Life Sciences, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia.
- Ariga, S.R., Aisyah, Y., Patria, A., Arpi, N., & Yunita, D. (2018). Physicochemical Characterization of Oil from Roasted Coffee. Proceeding of The 8th Annual International Conference (AIC): Health and Life Sciences, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia.
- Bae, J., Chae, S., Kim, J., Gunawan, A., & Mol, R. (2019). Spent coffee grounds as a precursor for preparation of activated carbon: A review. Journal of Cleaner Production, 218, 1061-1083
- Bijla, L., Aissa, R., Ait Bouzid, H., Sakar, E. H., Ibourki, M., Laknifli, A., & Gharby, S. (2022). Spent Coffee Ground Oil as a Potential Alternative for Vegetable Oil Production: Evidence from Oil Content, Lipid Profiling, and Physicochemical Characterization. Biointerface Research in Applied Chemistry, 12(5), 6308-6320.
- Bijla, L., Ibourki, M., Bouzid, H.A., Sakar, E.H., Aissa, R., Laknifi, A., & Gharby, S. (2022). Spent coffee ground oil as a potential alternative for vegetable oil production: Evidence from oil content, lipid profiling, and

physicochemical characterization. Biointerface Research in Applied Chemistry, 12(5), 6308–6320.

- Blinová, L., Sirotiak, M., Bartošová, A., & Soldán, M. (2017). Review: Utilization of waste from coffee production. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Tranva Slovak University of Technology in Bratislava, 25(40), 91–101.
- Böger, B. R., Mori, A. L. B., Viegas, M. C., & Benassi, M. T. (2021). Quality attributes of roasted Arabica coffee oil extracted by pressing: composition, antioxidant activity, sun protection factor and other physical and chemical parameters. Grasas y Aceites, 72(1), Article e394.
- Bouhzam, I., Cantero, R., Margallo, M., Aldaco, R., Bala, A., Fullana-i-Palmer, P., & Puig, R. (2023). Extraction of Bioactive Compounds from Spent Coffee Grounds Using Ethanol and Acetone Aqueous Solutions. Foods, 12(24), 4400.
- Bravo, J., Juániz, I., Monente, C., Caemmerer, B., Kroh, L. W., De Peña, M. P., & Cid, C. (2012). Evaluation of spent coffee obtained from the most common coffeemakers as a source of hydrophilic bioactive compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60(51), 12565–12573.
- Brooks, G. F., Carroll, K. C., Butel, J. S., Morse, S. A., & Mietzner, T. A. (2013). Jawetz, Melnick, & Adelberg's Medical Microbiology (26th ed.). McGraw-Hill Medical.
- Caetano, N.S., Caldeira, D., Martins, A.A., & Mata, T.M. (2017). Valorisation of Spent Coffee Grounds: Production of Biodiesel via Enzymatic Catalysis with Ethanol and a Co-solvent. Waste and Biomass Valorization, 8(6), 1981–1994.
- Caetano, N.S., Silva, V.F.M., & Mata, T.M. (2012). Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. Chemical Engineering Transactions, 26, 267–272.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2015). Biology: A Global Approach (10th ed.). Pearson Education Ltd.

- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H. A., & Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. Trends in Food Science & Technology, 45(1), 24–36.
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H.A., & Oomah, B.D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. Trends in Food Science & Technology, 45(1), 24–36.
- Choe, U. (2025). Valorization of spent coffee grounds and their applications in food science. Current Research in Food Science, 10, Article 101010.
- Codex Alimentarius Commission. (1999). Codex standard for named vegetable oils (CODEX STAN 210-1999). Food and Agriculture Organization of the United Nations; World Health Organization.
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. Molecules, 15(10), 7313-7352.
- Dang, C.H., & Nguyen, T.D. (2019). Physicochemical Characterization of Robusta Spent Coffee Ground Oil for Biodiesel Manufacturing. Waste and Biomass Valorization, 10, 2703–2712.
- De Rijke, E., Out, P., Niessen, W. M. A., Ariese, F., Gooijer, C., & Brinkman, U. A. Th., "Analytical separation and detection methods for flavonoids", Journal of Chromatography A, Vol. 1112, N°. 1-2, 2006, p. 35.
- Del Castillo, M. D., Ames, J. M., & Gordon, M. H. (2002). Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(13), 3698–3703
- Díaz-Hernández, G. C., Alvarez-Fitz, P., Maldonado-Astudillo, Y. I., Jiménez-Hernández, J., Parra-Rojas, I., Flores-Alfaro, E., Salazar, R., & Ramírez, M. (2022). Antibacterial, Antiradical and Antiproliferative Potential of Green, Roasted, and Spent Coffee Extracts. Applied Sciences, 12(4), 1938.

- Efthymiopoulos, I., Hellier, P., Ladommatos, N., Kay, A., & Mills-Lamptey, B. (2019). Effect of Solvent Extraction Parameters on the Recovery of Oil From Spent Coffee Grounds for Biofuel Production. Waste and Biomass Valorization, 10(2), 253–264

- Endo, Y. (2018). Analytical Methods to Evaluate the Quality of Edible Fats and Oils: The JOCS Standard Methods for Analysis of Fats, Oils and Related Materials (2013) and Advanced Methods. Journal of Oleo Science, 67(1), 1–10.

- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. Food Research International, 46(2), 488–495.

- Farah, A., & Donangelo, C. M. (2006). Phenolic compounds in coffee. Brazilian Journal of Plant Physiology, 18(1), 23-36

- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. Food Chemistry, 98(2), 373–380.

- Firdaus, R.M., Ishak, N.A.I.M., Aroua, M.K. and Gew, L.T. (2026). Extraction and LC-MS characterization of bioactive compounds from spent coffee grounds. Discover Food, 6(109). doi: 10.1007/s44187-026-00840-0.

- Fleming,A,(1929).On the antibacterial action of cultures of a penicillium. British Journal of Experimental Pathology,10(3),226-236.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010). *Expert Consultation on Nutrition Indicators for Biodiversity: 2. Food consumption*. Rome, Italy: FAO.

- Guo, E. L., & Katta, R. (2017). Diet and hair loss: effects of nutrient deficiency and supplement use. Dermatology Practical & Conceptual, 7(1), 1–10. http://dx.doi.org/10.5826/dpc.0701a01

- Halawa, E.M, Fadel, M.,Al-Rabia,M. W., Behairy, A., Nouh, N. A.,Abdo,M., Olga, R, Fericean, L.,Atwa,A.M.,El-Nablaway, M.,& A.(2024). Antibiotic action and resistance: Updated review of

mechanisms, spread, influencing factors, and alternative approaches for combating resistance. Frontiers in Pharmacology,14,1305294.

- Hanif, M., Harahap, F. A. U., Heru, Darni, Y., & Ginting, S. B. (2019). Extraction and Characterization of Coffee Oil From Instant-Coffee Waste. Jurnal Bahan Alam Terbarukan, 8(1), 59-64.
- Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. Pharmacology & Therapeutics, 96(2-3), 67-202.
- Havsteen, B. H., "The biochemistry and medical significance of the flavonoids", Pharmacology & Therapeutics, Vol. 96, N°. 2-3, 2002, p. 70.
- Ho, H. M., Tran, H. L. N., Tran, T. T. T., Nguyen, A. T. V., & Trinh, L. T. P. (2022). Evaluating the extraction of oil and sugars from spent coffee grounds. The Journal of Agriculture and Development, 21(1), 28-39
- Ho, H.M., Tran, H.L.N., Tran, T.T.T., Nguyen, A.T.V., & Trinh, L.T.P. (2022). Evaluating the extraction of oil and sugars from spent coffee grounds. The Journal of Agriculture and Development, 21(1), 28–39.
- Jiménez-Zamora, A., Pastoriza, S., & Rufián-Henares, J. A. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. LWT - Food Science and Technology, 61, 12-18.
- Kisiriko, M., Anastasiadi, M., Terry, L. A., Yasri, A., Beale, M. H., & Ward, J. L. (2021). Phenolics from Medicinal and Aromatic Plants: Characterisation and Potential as Biostimulants and Bioprotectants. Molecules, 26(21), 6343.
- Kondamudi, N., Mohapatra, S. K., & Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(24), 11757–11760.
- Koshima, Y., Kitamura, Y., Islam, M.Z., & Kokawa, M. (2020). Quantitative and Qualitative Evaluation of Fatty Acids in Coffee Oil and Coffee Residue. Food Science and Technology Research, 26(4), 545-552.
- Kourmentza, C., Economou, Ch. N., Tsafrakidou, P., & Kornaros, M. (2018). Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring

recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. Journal of Cleaner Production, 172, 980-992.

- Kovalcik, A., Obruca, S., & Marova, I. (2018). Valorization of Spent Coffee Grounds: A review. Food and Bioproducts Processing, 110, 104-119.
- Liang, N., & Kitts, D. D. (2014). Antioxidant property of coffee components: Assessment of methods that define mechanisms of action. Molecules, 19(11), 19180–19208.
- Maiyah, N., Auenchitr, Y., Supapvanich, S., Sirijariyawat, A., Ingkasupart, P., Chotigavin, N., & Kerdpiboon, S. (2025). Physical and Functional Properties of Spent Coffee Ground after Various Drying Techniques. Key Engineering Materials, 1017, 89–95.
- Martín, M.J., Pablos, F., González, A.G., Valdenebro, M.S., & León-Camacho, M. (2001). Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation. Talanta, 54(2), 291–297.
- Muangrat, R., & Pongsirikul, I. (2019). Recovery of spent coffee grounds oil using supercritical CO_2: Extraction optimisation and physicochemical properties of oil. CyTA - Journal of Food, 17(1), 334–346.
- Muangrat, R., & Pongsirikul, I. (2019). Recovery of spent coffee grounds oil using supercritical CO_{2}: Extraction optimisation and physicochemical properties of oil. CyTA - Journal of Food, 17(1), 334-346.
- Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. Resources, Conservation and Recycling, 66, 45–58.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. Food and Bioprocess Technology, 4(5), 661–672.
- Nikaido, H. (2003). Molecular Basis of Bacterial Outer Membrane Permeability Revisited. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 67(4), 593–656.

- O'Neill,J. (2016).Tackling drug-resistant infections globally: Final report and recommendations.Review on Antimicrobial Resistance.
- OECD/FAO. (2022). OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031. OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Oulahal, N., & Degraeve, P. (2022). Phenolic-Rich Plant Extracts With Antimicrobial Activity: An Alternative to Food Preservatives and Biocides? Frontiers in Microbiology, 12, 753518.
- Peleteiro, S., Rivas, S., Alonso, J. L., Santos, V., & Parajó, J. C. (2015). Utilization of ionic liquids in lignocellulose biorefineries as agents for separation, derivatization, fractionation, or pretreatment. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63(35), 7607–7621.
- Poaty, H., Kinsangou, F. A. M., Bolenga Liboko, A. F., Malanda, J. N., & Geffard, M. (2021). Immunoscreening of alpha-tocopherol in breast, prostate cancers and in gestational choriocarcinoma tissues. CellBio, 10(2), 11-21. https://doi.org/10.4236/cellbio.2021.102002
- Priena, G. H., & Handajani, M. (2023). Utilization of spent coffee grounds as adsorbent: A review. Proceedings of the 4th ITB Graduate School Conference, 1–13
- Raba, D. N., Poiana, M.-A., Borozan, A. B., Stef, M., Radu, F., & Popa, M.-V. (2015). Investigation on Crude and High-Temperature Heated Coffee Oil by ATR-FTIR Spectroscopy along with Antioxidant and Antimicrobial Properties. PLOS ONE, 10(9), e0138080.
- Raba, D.N., Chambre, D.R., Copolovici, D.M., Moldovan, C., & Copolovici, L.O. (2018). The influence of high-temperature heating on composition and thermo-oxidative stability of the oil extracted from Arabica coffee beans. PLoS ONE, 13(7), e0200314.
- Rang,H.P.,Ritter,J,M.,Flower,R.J.,Henderson,G.,&Loke,Y K.(2020).Rang& Dale's pharmacology(9th ed).Elsevier.
- Ranic, M., Nikolic, M., Pavlovic, M., Buntic, A., Siler-Marinkovic, S., & Dimitrijevic-Brankovic, S. (2014). Optimization of microwave-assisted

extraction of natural antioxidants from spent espresso coffee grounds by response surface methodology. Journal of Cleaner Production, 80, 69–79.

- Ribeiro, R. C., Mota, M. F. S., Silva, R. M. V., Silva, D. C., Novaes, F. J. M., da Veiga, V. F., Jr., Bizzo, H. R., Teixeira, R. S. S., & Rezende, C. M. (2024). Coffee oil extraction methods: A review. Foods, 13(16), Article 2601.

- Rodrigues, F., Palmeira-de-Oliveira, A., das Neves, J., Sarmento, B., Amaral, M. H., & Oliveira, M. B. P. P. (2015). Coffee silverskin: A possible valuable cosmetic ingredient. Pharmaceutical Biology, 53(3), 386–394.

- Rudan-Tasic, D., & Klofutar, C. (1999). Characteristics of Vegetable Oils of Some Slovene Manufacturers. Acta Chimica Slovenica, 46, 511–521.

- Saud, S., & Salamatullah, A.M. (2021). Relationship between the Chemical Composition and the Biological Functions of Coffee. Molecules, 26(24), 7634.

- Sisa, M., Bonnet, L. S., Ferreira, D., & Van der Westhuizen, J. H. (2010). Photochemistry of flavonoids. Molecules, 15(8), 5196-5245.

- Solomakou, N., Tsafrakidou, P., & Goula, A. M. (2022). Recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds through optimized extraction processes. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 25, 100219.

- Speer, K., & Kölling-Speer, I. (2006). The lipid fraction of the coffee bean. Brazilian Journal of Plant Physiology, 18(1), 201–216.

- Stalmach, A., Mullen, W., Barron, D., Uchida, K., Yokota, T., Cavin, C., Steiling, H., Williamson, G., & Crozier, A. (2009). Metabolite profiling of hydroxycinnamate derivatives in plasma and urine after the ingestion of coffee by humans: Identification of biomarkers of coffee consumption. Drug Metabolism and Disposition, 37(8), 1749–1758.

- Taylor & Francis. (2023). Iodine value – Knowledge and References. Taylor & Francis Knowledge Centers. متاح على [على الخط]: https://taylorandfrancis.com/knowledge/Engineering_and_technology/Chemical_engineering/Iodine_value/ [تم الاطلاع عليه: ماي 2025].

- Thiam, G., Sene, N. A., Balland, P., & Touré, A. O. (2024). Properties and mechanical performance of cement mortars incorporating coffee grounds residues. Advanced Journal of Science, Technology and Engineering, 4(4), 42–54.
- Toci, A. T., Farah, A., Pezza, H. R., & Pezza, L. (2016). Coffee adulteration: More than two decades of research. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 46(2), 83–92.
- Tun, M.M., Raclavská, H., Juchelková, D., Růžičková, J., Šafář, M., Štrbová, K., & Gikas, P. (2020). Spent coffee ground as renewable energy source: Evaluation of the drying processes. Journal of Environmental Management, 275, 111204.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2026, April). Oilseeds: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service.
- United States Department of Agriculture. (2025, December). Coffee: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service.
- Vignoli, J. A., Bassoli, D. G., & Benassi, M. T. (2011). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. Food Chemistry, 124(3), 863–868.
- Wagemaker, T.A.L., Carvalho, C.R.L., Maia, N.B., Baggio, S.R., & Guerreiro Filho, O. (2011). Sun protection factor, content and composition of lipid fraction of green coffee beans. Industrial Crops and Products, 33(2), 469–473.
- Wintgens, J. N. (Ed.). (2004). Coffee: Growing, processing, sustainable production: A guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Wiley-VCH.
- Zhang, Y., Cai, P., Cheng, G., & Zhang, Y. (2022). A Brief Review of Phenolic Compounds Identified from Plants: Their Extraction, Analysis, and Biological Activity. Natural Product Communications, 17(1), 1-14.

- Zhou, X. (2015). Basic biology of oral microbes. In X. Zhou (Ed.), Atlas of Oral Microbiology (pp. 1-14). Academic Press.

- Zuorro, A., & Lavecchia, R. (2012). Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. Journal of Cleaner Production, 34, 49–56.